مبادئ الجيومورفولوجيا

(أشكال التضاريس الأرضية)



تأليف
ماكس ديرّوو

تعريب
عبد الرحمن حميدة

دار الفكر


بسم الله الرحمن الرحيم


مبادئ الجيومورفولوجيا
(أشكال التضاريس الأرضي)



تأليف
ماكس ديرّوو
أستاذ في جامعة كليرمون فيران
فرنسا

تعريب
عبد الرّحمن حميده
أستاذ في قسم الجغرافية
جامعة دمشق

دار الفكر

١٤٠٢ هـ - ١٩٨٢ م



طبع بطريقة الصف التصويري
في دار الفكر بدمشق

مقدمة الطبعة الثانية

حمداً لله وشكراً وصلاة على محمد وسلاماً وبعد .

أقدم الطبعة الثانية من كتاب « مبادئ الجيومورفولوجيا » بعد أن قمت بتنقيحه واضفت اليه شروحاً عديدة توضح ما يصعب فهمه وتجلو النقاط الغامضة في النص .

وأود في هذا المجال أن ابيّن لأبنائي الطلبة أن فهم هذه المادة لا يمكن بحال من الأحوال أن يكون بمعزل عن اكتساب زاد كاف من المعرفة في الجيولوجيا العامة .

كما ألفت نظرهم الى أن هذا الفرع من علم الجغرافيا يستدعي الاعتماد دوماً على المراجع المطولة في اللغات الأجنبية ، من انكليزية أو فرنسية ، بسبب جودة تنسيقها المنطقي وغناها بالأشكال والصور التي تساعد على سرعة الفهم وعلى تمثل المعلومات والله الموفق .

المعرّب

المقدمة

لما كانت المكتبة الجغرافية العربية ، ولا زالت ، مفتقرة لمؤلفات في ميدان علم اشكال الارض أو « الجيومورفولوجيا » . ورغبة مني في تبسيط هذا العلم الذي يعتبر بحق مفتاح معرفة الفروع الجغرافية الاخرى ، فقد اخترت أحدث كتاب ظهر في هذا المضار وأكثر المؤلفات المماثلة ايجازا ، وقمت بترجمته مع اضافة امثلة من الاقطار العربية واشكال وصور تزيده ايضاحا وهو :

Les Formes du relief terrestre

(notions de géomorphologie)

لمؤلفه

Max Derruau. Paris 1969

غير أن هذا الكتاب الذي أقدمه لطلبة الجغرافيا العرب لا يغني بأي حال من الاحوال عن الكتب الاخرى ، الاكثر تفصيلاً ، وخاصة تلك التي تعالج ابحاث الجومورفولوجيا في المناطق القاحلة وشبه القاحله ، والتي تنتسب اليها معظم ارجاء وطننا العربي الكبير .

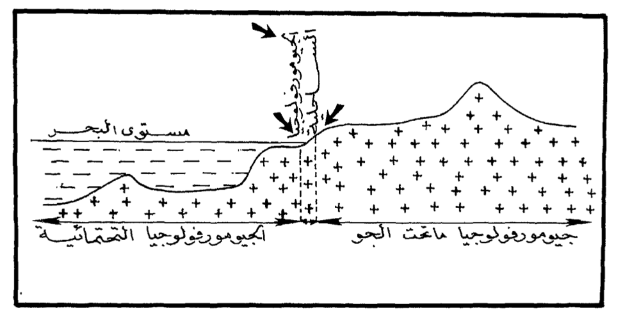
والله وحده أسأل أن يمنحني العزيمة وفسحة في الاجل كي اتمكن من المساهمة في جعل دراسة هذا الفرع من المعرفة الجغرافية أيسر سبيلا وأسهل منالاً وهو ولي التوفيق .

اشكال التضريس الارضي

المدخل : يجب ان نميز عند دراستنا أشكال التضريس الارضي ، بين الاراضي المغمورة ، كقيعان البحار والبحيرات ، وبين الاراضي اليابسة ، اي التضريس الواقع تحت الهواء (شكل ١) أما مجال التماس بين الاثنين ، أي الساحل ، فهو مجال خاص منفرد ، وسندرس فيما يلي الاراضي اليابسة أو العائمة ، والساحل .

اولا ـ خطوط القاع والفواصل النهرية : Talwegs et interfluves

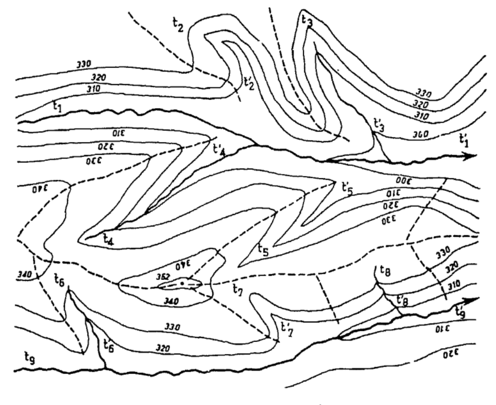
تنقسم طبغرافية المساحات العائمة ، على العموم ، الى عنصرين هما خطوط القاع والفواصل النهرية ، وتطلق كلمة **خط القاع** talweg على الخط الذي يصل اخفض النقاط في وادٍ ما . فسرير النهر يتبع خط القاع ، هذا اذا لم نأخذ بعين الاعتبار عرضه ، واذا ما اعتبرناه كخط حسبما يتمثل في الخرائط . ونجد خط القاع هذا حتى ولو لم يكن هناك مجرى مائي دائم ، كما هو الحال في



شكل (١) مقطع يظهر مجالات الجيومورفولوجيا الثلاثة

الصحـاري أو في مسيل ذي قـاع منفـذ للمـاء . ويستثنى من ذلـك الطبغرافيـة الحاوية على منخفضات مغلقة ، كبعض المنـاطق ذات الصخور الكلسيـة أو بين الكثبان الرملية ، وكذلك في المناطق ذات الطبوغرافية المستوية تقريبا .

وتطلق تسميـة **الفـاصـل النهري** interfluves على المسـاحـة الـواقعـة بين خطي قـاع . ويشتمل الفـاصـل النهري ذاتـه على **قمـة وعلى سفحين** . فقمـة



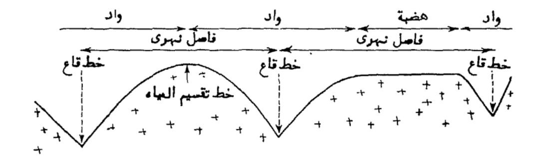
(شكل ٢)   الفواصل النهرية وخطوط القاع

تمثيل كارتوغرافي بواسطـة خطوط التسـويـة (الكنتـور) . وتشير الخطـوط المتقطعـة الى خطـوط تقسيم الميـاه (وتسمى أحيانا خطوط العرف) ، أي الى قمم الفواصل النهرية : وكل خط قاع يرمز اليه بحرف t الى جـانب رقم أمـا خطوط القاع t1 ، t'1 وt9 وt'9 فتصرف ماءها في مجرى مـائي رئيسي ، يجري في اتجـاه السهم . لكن خطوط القـاع t3 وt'3 و t4 و t'4 و t6 و t'6 و t8 و t'8 تصرف مياهها بمجرى مائي ثانوي يرفد المجرى المـائي أو النهر الرئيسي . غير أن t2 و t'2 و t5 و t'5 و t7 و t'7 فليست مجار مائية بالمعنى الصحيح لأنها عـارة عن قيعـان مسيلات جـافـة . لاحـظ الممر الواقع بين t4 و t6 وبين t5 t7 انه يؤلف سرجا في خط تقسيم المياه .

الفاصل النهري يمكن تشبيهها بخط تنقسم عنده المياه الهاطلة من الجو ، خط يسمى احيانا خط الاعراف crêtes غير أن لهذه العبارة محاذيرها لانها تؤدي الى الالتباس ، نظرا لان كلمة العرف مخصصة ، في علم الجيومورفولوجيا ، لخط الذرى الحادة والصخرية . ويتألف خط الذرى في أغلب الحالات من عراقيب متتالية ، تنفصل عن بعضها بممرات cols او بسروج ensélléments (ممرات منفرجة على شكل موقع السرج فوق ظهر الحصان) (شكل ٢ و ٣) .

ثانيا ـ الحت والليتيولوجيا والبنية :

يعتبر تكييف modelé التضريس ، على شكل خطوط قاع وفواصل نهرية ، نتيجة لعمل الحت érosion ، وليس عبارة عن وضع مسبق كائن أصلاً ، وكأن الأودية قد خلقت لتسهيل جريان الماء . ولكن من الصحيح أيضا القول بأن عوامل الحت لم تبدأ عملها فوق سطح منبسط ، ذلك لأن القوى التي انهضت أو جّعدت سطح الأرض ، هذه القوى التي تدعى القوى

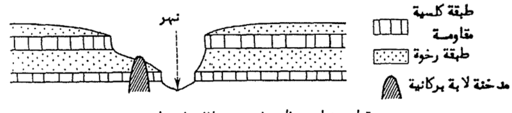


(شكل ٣) مقطع يظهر خطوط القاع والفواصل النهرية

يشتمل الفاصل النهري الأيسر على سفحي واد ، منفصلين عن بعضهما بخط تقسيم ماء . لكن الفاصل النهري الأيمن يبعث على الحيرة نوعا ما ، لأنه يشتمل فضلا عن ذلك على منطقة هضبية ، بحيث يشكل خط التقسيم المائي هنا نوعا من « سطح » تقسيم مياه .

التكتونية téctoniques ، أي القوى الهندسة ، لأنها كالمهندس تبني التضريس ، قد أوجدت مرتفعات وأماكن واطئة ، اذن **فالحت يصنع التضاريس التي خلقها وأوجدها البناء أو التكتونيك** téctonique

ويأخذ هذا التكييف التضريسي طبيعة الصخور بعين الاعتبار ، أي يتأثر **بالليتولوجيا** lithologie[1] . وبالفعل يبرز الحت ويكشف ، كما يحدث مثلا على خواصر الأودية الناجمة عن تعمق الأنهار التدريجي ، يبرز ذاك الصخر القاسي ، فلا يلبث أن يجعله ناتئا (شكل ٤) . فالبناء أو التكتونيك يشيد التضاريس بالاستعانة بمواد مختلفة قد تكون رخوة أو قاسية ، ويقوم الحت بتهديم هذه التضاريس ، ولكنه يقوم بذلك بصورة متفاوتة ، فيعمل بسرعة أكبر في الصخور الطرية ، أي يعمل حسب الليتولوجيا ، فيقال ان عمله **تفاضلي أو تبايني** différentiel **أي يتباين حسب مقاومة الصخور .** فالتقاطيع التي يخلقها الحت والتي تقارن بالتقاطيع التي يصنعها النحات الذي يصنع التماثيل[2] انما تعبر عن **العلاقة المتبادلة بين عمل الحت ، وبين دور**



مقطع عرضاني يظهر فيه دور الليتولوجيا

(شكل ٤) تنم الصخور القاسية ، من كلسية أو لابة بركانية ، تنم عن نفسها بالبوارز في الاتجاه الأفقي (صخر كلسي) أو العمودي (مدخنة بركانية) حسب ارتصاف الصخور ، أي حسب البنية . وهنا نلاحظ العلاقة المتبادلة بين عمل الحت وبين طبيعة صخور الأرض .

---

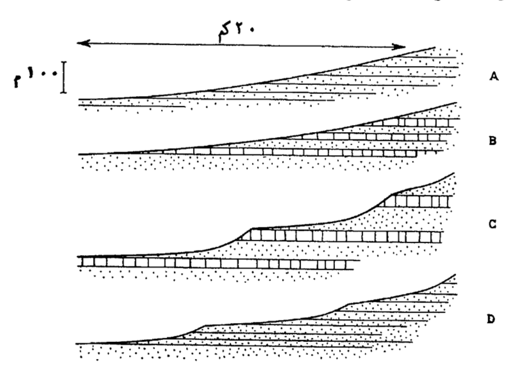
(١) مأخوذة من كلمة lithos ، أي حجر .

(٢) ومن هذا جاءت عبارة glyptogenèse التي تستعمل احيانا كمرادف لكلمة تكوين الأشكال morphogenèse عند الكلام عن دراسة منشأ وأصل أشكال التضاريس

القوى التكتونية وطبيعة الصخور . وهذا ماسيدل عليه التمعن في بعض الأمثلة .

١ ـ لنتأمل في حالة خط قاع : ويكون مقطعه الطولي منتظما كما في A وفي B أو غير منتظم كما في C و D . ويقال ان مقطعه منتظم اذا كان تغير الانحدار تدريجيا أو إذا كان هذا الانحدار ثابتا على قطاعات كاملة ، حتى ولو كانت الصخور التي يجتازها المقطع المذكور متباينة في طبيعتها . أي أن عمل الحت تغلّب على اختلافات المقاومة الصخرية (شكل ٥ B) .

أما اذا كان المقطع الطولي في خط القاع غير منتظم ، أي اذا كان حاوياً على انقطاعات في الانحدار ، أي في الميل ، فمعنى ذلك أن الانحدار يتناقص أو يتزايد بصورة فجائية . فقد تنتج انقطاعات الميل عن انتقال من صخر لآخر (شكل ٥ C) ، ولكنها قد تكون مستقلة عن طبيعة الصخور (شكل ٥ D) أو بعبارة



(شكل ٥) مقاطع طولانية منتظمة ومقاطع طولانية غير منتظمة لخطوط القاع

أخرى تعود بعض انقطاعات الميل لأصل ليتولوجي ، في حين يعود بعضها لأصل مختلف مثل درجات مصاطب لحقية أو حتية .

مثلاً قد نرى انقطاعا في الميل على نقطة تدل على استئناف في الحت ، وقد يكون هذا الانقطاع ناجماً عن حركة أدت ، في السافلة[٣] الى ازدياد في ميل النهر .

٢ ـ **لنتأمل في حالة سفح** . فقد يكون هذا السفح منتظما ، وهذا سواء في صخور مختلفة بين أعلى السفح وحضيضه ، أو في صخور متشابهة . كما قد يكون غير منتظم ، واختلاف الانتظام فيه قد يكون ناتجاً عن اختلافات في مقاومة الصخور أو غير ناتج عن اختلافات المقاومة المذكورة .

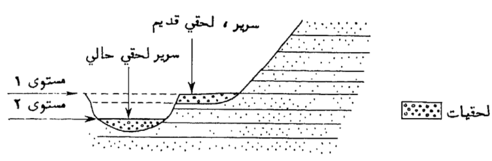
ونرى أمثلة السفوح المنتظمة في كثير من مشاهد تضاريس بلادنا كالسفوح الحوارية على ضفاف نهر الكبير الشمالي وفي القلمون في غربي النبك . ولا تقل السفوح غير المنتظمة عددا عن ذلك . وتبرز هذه الحالة عندما يظهر منبسط يقطع انحدار الميل ، فقد يكون هذا المنبسط replat عبارة عن سرير نهري قديم برز ناتئا بعد استئناف تعمق حديث اعترى خط القاع (شكل ٦) .

فقد يكون هذا المنبسط ناتجا عن إنكشاف ساف[٤] من صخر قاس : صخر رملي ، صخر كلسي ، بازلت .ففي كلتا الحالتين ـ أي حالة مقطع سفح واد أو مقطع خط قاع ـ تستطيع الليتولوجيا اذن أن تلعب دورها في التضريس ، ولكن يجوز أيضا أن لايكون لها أي دور ، على عكس ما سبق إذ قد تظهر تفاوتات في ارتفاعات التضريس ، وذلك مع غياب الاختلافات الليتولوجية .

---

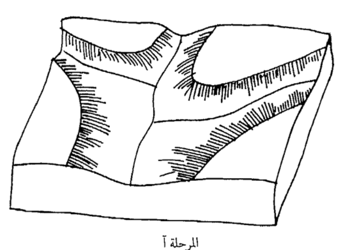
(٣) السافلة أو المسفل أي القطاع السفلي في نهر ما . فمدينة بغداد تقع ، بالنسبة للموصل في سافلة نهر دجلة وتقابل aval بالفرنسية و downstream بالانكليزية .

(٤) الساف ويقصد به طبقة رقيقة تقابلها بالفرنسية lit أو strate وبالانكليزية bed

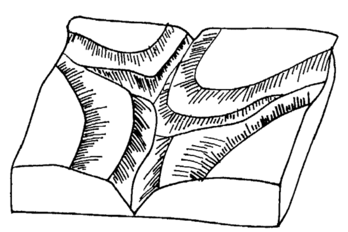


شكل ٦ : مثال عن منبسط أو درجة على سفح

في دلك شاهد على عصر كان النهر يجري خلاله في مستوى ١ ، الذي كان سريراً قديماً لنهر تلاشى جرئياً (حط متقطع) وباق حزئياً ، ويشكل انقطاعاً في الميل لأنه برز بفعل تجدد في تعمق النهر حتى مستوى ٢ .



المرحلة آ



المرحلة ب

(شكل ٧) تشكل منبسطات (مصاطب صخرية) في التكوين الصخري نفسه أي مع انعدام الفوارق الليتولوجية بسبب تعمق مجرى النهر بعد انخفاض مستوى الأساس

ومن هذا نستشف وندرك مبادئ التحليل الجيومورفولوجي . هذا التحليل الذي يرمي الى تبيان دور الطبقات الجيولوجية (الليتولوجيا) في التضاريس وأوضاع ارتصافها disposition : فهذه الطبقات يمكن أن تكون أفقية أو مائلة ، كما يمكنها أن تكون متموجة . ولكن على التحليل أن يبحث أيضا عن دور العوامل المستقلة عن كل بنية . ترى هل عمل الحت كثيرا ؟ وهل توصل الى طمس المؤثرات الليتولوجية ؟.

ومن هذا جاءت الدراسة المزدوجة والمنفصلة لطائفتين كبيرتين من العوامل :

فتطلق كلمة **البنية** على طبيعة الصخور أي هي قاسية أو رخوة أو منفذة أو كتيمة وأوضاعها أي فيما أذا كانت أفقية أو ملتوية أو مهشمة بكسور ، بمعنى أن مفهوم البنية يشتمل على مفهوم الليتولوجيا ، ولكنه يشتمل عاملاً آخر يعود للبناء ، أي التكتونيك ، كاختلافات انحناءات الطبقات ، والكسور والطيات الخ . وهذا تكون الجيومورفولوجيا البنيوية احدى أكبر أجزاء دراسة التقاطيع التضريسية .

وهناك طائفة أخرى من عوامل تخص تلك التي تنحت وتهندس التضريس هادفة تخريبه بصورة متفاوتة . ونقصد بها عوامل الحت المختلفة ؛ كالمياه الجارية ، والريح ، والجموديات الخ . وتشكل دراستها مورفولوجية الحت . وتستعمل أحيانا عبارة **الجيومورفولوجيا الدورية** cyclique ، في معنى يختلف بصورة طفيفة جدا . فلما كان عمل الحت يؤدي لتقويض التضريس تدريجيا حتى تسويته تماما ، ريثما تحدث حركات جديدة تؤدي لانبعاث الأشكال ولاستئناف عمل التهديم ، نلاحظ أن الحت يتصرف بصورة دورية ، وذلك باستئناف عمله بعد كل فترة حركات أرضية ، أو أوروجينية ،

أي حركات مولدة للجبال . ومن هذا جاءت عبارة الدروة الحتية ، ومنها أشتقت تسمية الجيومورفولوجية الدورية .

هذا ولا تقتصر دراسة المورفولوجيا الدورية على الأشكال الحتية المألوفة كأشكال مجرى واد سيلي فحسب ، بل تهتم أيضا بدرجة تطور الأشكال فما اذا كان عمل الحت متقدما فيها أم لا ، مثلما تدرس كذلك دلائل وشواهد الأشكال الحتية القديمة التي يعمل تجدد الحفر حاليا على تهديمها .

وحقيقة القول ان عبارة الدورية ، التي حاولنا تفسير أصلها ، هي عبارة قابلة للجدل لأنها تستند على نظرية غير متفق عليها . فهي تفترض أن الحت يشتغل خلال حقبة طويلة لا تحدث خلالها حركات تكتونية ابدا وبعدئذ تأتي فجأة حركات تكتونية سريعة تؤدي لتجدد الدورة . تلك هي النظرية التي أتى بها العالم الجيومورفولوجي الأمريكي الشهير ويليام موريس ديفيس في أواخر القرن الماضي واعتنقها العالم الفرنسي ديمارتون من بعده .

وتبدو هذه النظرية سهلة المأخذ ولكنا نلاحظ في أغلب الحالات أن التكتونيك يعمل خلال حقب طويلة بصورة متزامنة مع عمل الحت ويجب أن نكون حذرين جدا عند تطبيق النظريات الدورية في دراساتنا .

هذا كا لا يجوز النظر الى الحت كمفهوم مجرد . فهو يعمل **في شروط حيوية مناخية** bioclimatiques **تختلف جداً باختلاف الحالات** ، ففي غابة كغابة البلوط والزان أو الشوح في الأقطار المعتدلة ، مثلما هو الحال في الغابة الاستوائية ، نجد أن الأرض تكون مستورة بغطاء سميك من الأوراق الميتة ، والآخذة في التفسخ ، غطاء يعمل على حمايتها من عمل الحت . كا تعمل أوراق الشجر على وقاية سطح الأرض من صدمة قطرات المطر ، بحيث لا يكون السيلان تحتها عنيفا جدا أبدا . وفضلا عن ذلك لاتكون للريح

سيطرة محسوسة على أرض محمية بغطاء شجري . وهكذا نكون هنا في مجال تكون العوامل الحتية فيه غير نشيطة وذلك على الأقل فوق السفوح ، فالعوامل الحتية الرئيسية هنا تعود لأصل كيماوي ، كتأثر الأرض بالرطوبة الدائمة التي تعمل في الغطاء الورقي الآيل الى التفسخ .

وعلى خلاف ذلك في قطر شبه قاحل كمعظم ارجاء الوطن العربي ، عدا الصحاري والغابات ، وحيث يكون النبات نادرا ومقتصرا على بعض باقات مبعثرة ، وحيث تتساقط أمطار فجائية ، لاتكون الأرض محمية أبدا من مؤثرات السيلان المائي . فهنا تحدث عوامل حتية سيلية قوية جدا . ويستطيع الريح أن يتلقف الأنقاض الصخرية الهشة ويقذفها على سطوح الصخور . فنرى هنا نظاما حتيا أكثر عنفا بكثير من ذاك الذي ذكرنا في الغابات(٥) .

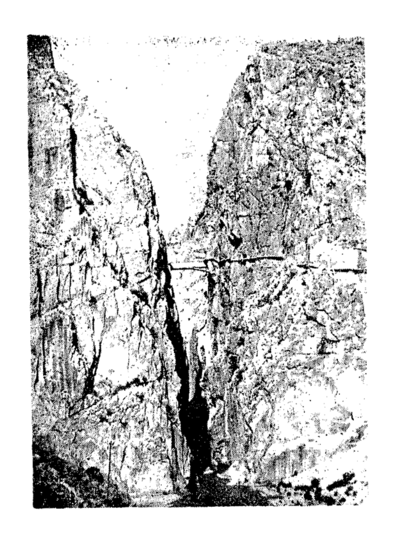
ومن هذه الموازنة ، نتوصل لتمييز عدة منظومات حيوية مناخية ، أو بيومناخية ، فهناك مركّب complexe كامل من عوامل تشتغل تحت الغابة الاستوائية ، في حين أن عوامل أخرى تعمل في الصحراء المطلقة ، كالصحراء الليبية ، وهناك عوامل تسود في المناطق التي يكون الانجماد فيها حادا وكثير التراداد ، كسيبريا وشمالي كندا ، واخيرا نلاحظ عوامل حتية قائمة تحت جموديات المناطق القطبية الشمالية والجنوبية . وهكذا يجب أن تكون دراسة قوانين الحت العامة متكاملة بدراسة اختلافات منظومات الحت البيومناخية ، أو الحيوية المناخية اذا شئنا .

---

(٥) تؤلف النباتات الغطاء الواقي بالنسبة للتربة . فهي تحول دون مؤثرات الحت أو تخفف نتائجها على الأقل . فمثلاً يحتاج الريح وماء المطر لمدة ٥٧٠٠٠٠ سنة كي ينتزع من التربة طبقة ثخانتها ١٨ سم في منطقة مكسوة بالغابة . ولكنه يكتفي بمدة ٨٠٠٠٠ سنة لاقتلاع الطبقة ذاتها في منطقة مروج وتكفيه مدة ٤٦ سنة للقيام بالعمل ذاته في أرض مزروعة ولكنه يقنع بمدة ١٨ سنة فقط في منطقة عارية تماماً ، أي يقتلع هنا مقدار ١ سم في كل عام .

وهكذا استبانت معالم مخطط دراستنا . فالجزء الأول ينصرف لدراسة الخطوط الكبرى للحت المفترض انه يعمل في صخور متجانسة ، فندرس عمله على السفوح من ناحية ، وفي المجاري النهرية من ناحية أخرى . وبعد أن تعرفنا على قوانين الحت سيكون بمقدورنا ، في جزء آخر ، ان نتعرض للجيوموفولوجيا البنيوية ، وهذا مالا يمكن التوصل اليه لو لم ندرس بادئ ذي بدء كيف يكشف الحت حافة طبقة صخرية ما ، أو كيف يكشف صدعا من الصدوع . وسندرس في الجزء الثالث الجيومورفولوجيا المناخية ، أي مختلف منظومات الحت البيومناخي . وتستند هذه الدراسة في آن واحد على دراسة عوامل الحت الخاصة بكل مناخ وعلى سلوك الصخور المختلفة كما عرفناه في بحثنا عن الجيومورفولوجيا البنيوية .

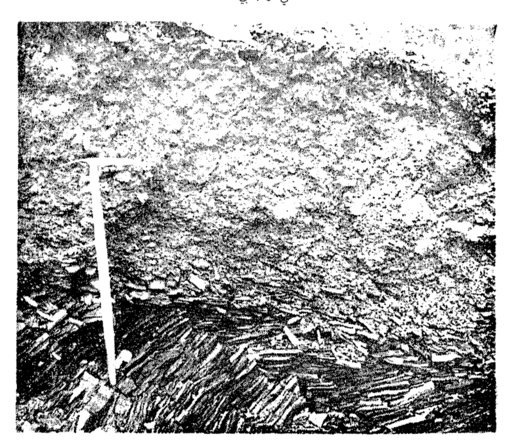
ولكن اذا كان البحث عن الوضوح المنهاجي سيقودنا الى تقسيم علم الجيومورفولوجيا الى اجزاء ، فانه من الجلي ايضا ان كل قسم من القشرة الأرضية يؤلف كلاً متآخذا يمارس فيه قانون الجريان المائي المعين ، ومظهر الثقالة على انقاض السفوح ، وعمل الانجماد أو الحرارة العالية ، أو الوضع المعين التي تتخذه الطبقات الصخرية . ومهما كانت عليه تبسيطات التقسيم في الأبحاث القادمة فلا يجوز أن يغرب عن بالنا ان الجيومورفولوجيا هي علم تحليلي .



صورة رقم ١ ـ عمل الحت المائي في خط قاع حيث يكون الحت خطيا linéaire



صورة رقم ٢ ـ حت العوامل الجيوموفولوجية على الفواصل النهرية وخاصة في الوهدات التي يستقر فيها الماء . هنا حت سطحي أو جانبي aréolaire .



صورة رقم ٣ ـ حركة الأنقاض فوق سفح : يظهر في القسم الأسفل من الصورة أنقاض الصخر المتجمند وهي تنزل نحو أسفل السفح (على اليمين) وذلك بفعل هبوط التربة التي « تزحف » على المنحدر وهي تقوم « بحصد » الطبقات .

الجزء الأول
الحت : السفوح ، المجاري المائية ، التسطيح

الفصل الأول
الحت على السفوح

مقدمة : بعد أن عرفنا أن تقاطيع الأرض تشتمل على سفوح مقابل خطوط قاع ، سندرس ما يحدث فوق السفوح ، وبعد أن عرفنا أن الأنقاض التي تتشكل عليها تنزل نحو القاع أي قيعان الأودية ، سنتمكن بعدئذ من محاولة فهم كيفية تطور المجاري المائية . ولكن من الواضح تماما أن مظهر سفح ما يتعلق بقوة أو بضعف الحفر الذي يقوم به المجرى المائي الذي يجري عند قاعدته ، كما أن عمل المجرى المائي ذاته يتعلق بكتلة الأنقاض التي يدفعها ويقدمها اليه السفح . والتعرف على هذه العلاقة المتبادلة يساعدنا على تحليل الحت على السفوح بصورة منفصلة عن الحت النهري[٦] .

أولا ـ فساد الصخور محليا

لنفترض وجود جلمود صخر كشفه الحت وعرضه للهواء فوق سفح ما . فهو لن يظل سليماً من الفساد إذ سيخضع لتأثير تقلبات الطقس . اذن سيتعرض **للفساد المحلي** وهذا بالمقارنة مع الحت الذي ينقل ويبدل مكان الانقاض . وقد عرّبت هذه العبارة بكلمة **تجوية** التي تقابل كلمة Weathering الانكليزية وكلمة météorisation البرتغالية .

---

(٦) الحت ترجمة كلمة érosion بالفرنسية والانكليزية وقد ترجمت على أشكال مختلفة في الأقطار العربية فهي تأكّل في لبنان ، وتحات وتعرية في مصر الخ ...

ويمكن للفساد المحلي ان يتراءى لنا على ثلاثة اشكال : فيمكن أن يكون آليا ، أي ميكانيكيا ، كما يمكن ان يتم عن طريق التخلل في الماء ، وأخيرا يمكن أن يكون على شكل تفسخ كيماوي .

١ ـ **العمل الميكانيكي :** ويدعى **التفكك** désagrégation ويمكن ان تساعد على ذلك بنية الصخر ذاتها التي تكون تارة مركبة من حبات ، كالغرانيت ، وتارة اكثر تجانسا ولكنها متشققة كالصخر الكلسي .

ولكل صخر سلوكه الخاص تجاه عوامل التفكك ، فالغرانيت يتفتت في حين يعطي البازلت جلاميد .

وينجم هذا العمل الميكانيكي عن **تقلبات الحرارة** التي تمدّد او تقلص الصخر فتستطيع بذلك ان تحوله الى شظايا ، ولكن هذه الاختلافات الحرارية تظل غير محسوسة كثيرا ما دامت درجات الحرارة فوق الصفر . فالانجماد هو العامل الرئيسي في ظاهرة التفكك . وتطلق تسمية **التجمد** gélivation على تأثير الانجماد على الصخور ، وتقابلها كلمة gélifraction المنحوتة من الانكليزية .

وعلينا ان نلاحظ انه لكي يكون العمل الميكانيكي الذي يقوم به الانجماد ناجعاً ، يجب ان يكون الصخر مشرباً بالماء : فانجماد الماء الذي تحويه الشقوق الدقيقة في الصخر هو الذي يؤدي الى تشظّيه وتحويله الى حطام .

كما ان بعض **العضويات الحية** ، كجذور الاشجار التي تنمو ، تستطيع بدورها توسيع شقوق الصخور وتؤدي بالتالي الى تفكيكها على شكل جلاميد . وهذا ما تفعله جذور اشجار الدلب في أرصفة شوارعنا والتي تؤدي الى تفكيك البلاط وتكسيره بعد رفعه للاعلى .

٢ ـ **التحلّل** : ويكون هذا متفاوتا باختلاف نوعية الصخور . ويمكننا تصنيف العناصر الكيماوية حسب قابلياتها للتحلل ، بدءا من اكثرها استعدادا للتحلل الى اقلها استعدادا له وهي : كلورور الصوديوم ، كبريتات الكلسيوم ، معظم الأسس ، السيليس ، الالومين .

ولكي يتمكن التحلل من القيام بعمله يجب ان يكون الماء على تماس مع جزيئات الصخور : اذن يجب ان تكون الصخور مسامية ، كما يجب ايضا ، في بعض الحالات ، ان يكون الماء مشحونا بالغاز الفحمي ، وهذا شرط اساسي لمهاجمة الصخور الكلسية(٧).

هذا وقد يشحن الماء احيانا بذرات منعزلة وبذلك يؤلف محاليل حقيقية : ولكن في اغلب الاحيان ، تشكل الاجسام الصلبة في الماء تجمعات صغيرة مؤلفة من بضع ذرات . ففي هذه الحالة يطلق عليه عبارة **محلول غروي** اي قادر على تشكيل غراء أو صمغ .

فالماء الذي يتسرب لداخل الصخر والذي يكون مشحونا بالذرات ، المنعزلة او المتجمعة ، يشكل ما يسمى **بمركب الفساد** . ويجنح هذا المركب للتسرب بفعل الثقالة ، ولكنه يكون ، من ناحية اخرى ، خاضعا لمؤثرات تستطيع ان تجعله يصعد نحو السطح ، كخضوعه للتبخر مثلا كما يحدث للتربة الملحية في وادي الفرات ودجلة والخابور حيث تظهر على سطحها التزهيرات الملحية التي تقود الى عقم التربة . وفي مقابل ذلك نجد عملية معاكسة تدعى الغسل lessivage وتعني جر الجزيئات الموجودة في مركب الفساد نحو

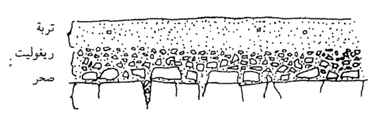
---

(٧) وتسمى الصخور الجيرية في مصر لان الكلس يسمى الجير في مصر والشيد في فلسطين والاردن ، ولكن كلمة كلس تبدو اقرب للانتشار لان اللغات الاوربية تستعمل كلمة كلسيوم المأخوذة من العربية .

الاسفل ، وعلى العموم تنتزع هذه الجزيئات من السطح وتنزل لعمق يبلغ بضعة سنتيمترات ، ولكنها قد تستطيع النزول لعمق اكبر من ذلك ، مخترقة الصخر ، وتصل الى **الغشاء البئري** nappe phraétique ، اي الى الغشاء المائي الذي يظهر في قاع الآبار . وهذا الغشاء هو الذي يغذي الينابيع . وتطلق عبارة **الغسل المائل** على تفريغ المواد المنحلة والمنتزعة من الصخر والمقتلعة من السفح بواسطة الينابيع .

٣ ـ **الفساد الكيماوي** . ويندر ان يحدث في حالة الجفاف ، بل على العموم بواسطة الماء . ويتم بصورة مباشرة فوق السفوح الصخرية ، او على الاكثر فوق اجزاء الصخر المتفكك . وتتحول جزيئات الصخر حسب اسلوب مهاجمته من قبل شوارد (ايونات) الماء . وهكذا تتشكل ، بصورة رئيسية ، الاكاسيد والغضاريات . مثال عن **اكسيد** : ان الليمونيت الذي يمنح اكثر الترب لونها الاصفر ليس اكثر من صدأ . فهو عبارة عن اكسيد الحديد المميّه كثيرا hydraté ، **اما الغضاريات** فهي ذرات ذات شكل منبسط ، شرائح ، تنزلق فوق بعضها البعض ، والتي يمكنها ان تتشرب بالماء نظرا لوجود فراغات حرة بين وريقاتها . فحركيّة هذه الوريقات المنفصلة عن بعضها بالماء هي التي تفسر مرونة الغضاريات ، مما يساعد على استعمالها في صنع التماثيل والاواني الخزفية .

٤ ـ **النتيجة : تشكل تربة** : إن أي صخر يخضع للتجزؤ الميكانيكي ،



(شكل ٨) مراحل تشكل التربة

ولكن لاسيا اذا تعرض لمهاحمة الماء على شكل تحلل وفساد ، يصبح على العموم اكثر رخاوة ، كالبازلت الموجودة فوق الجوراسي في سورية ولبنان . فالعناصر الدقيقة التي عزلت فيه تصبح قادرة على تغذية النباتات عن طريق الجذور التي تتشعب في داخله . اذن لا نكون بمعرض صخر بالمعنى الصحيح بل أمام صخر فاسد ، متراخ ، قادر على السماح للنباتات بأن تتشبث فيه : وهكذا وصلنا الى تعريف التربة .

وعلينا الآن التمييز بين التربة والصخر . **فالتربة** هي نتيجة فساد الصخور لدن تماسها مع الجو ، وهي ايضا ركيزة النبات الذي يحولها بدوره ، وخاصة بواسطة تفسخ بطيء يعتري بقايا النباتات الميتة . فالتربة هي اذن عبارة عن مركب معدني وعضوي ، وبذلك لا نستطيع الكلام عن تربة حقيقية في الصحاري لانعدام النبات . أما **الصخر** ، فعلى العكس ، هو تكوين جيولوجي سليم ، لم يتعرض بعد لعوامل التجوية . فالصخر يمكن ان يكون قاسيا ، كالصخر الكلسي ، او طريا كالغضار . وكل صخر ليس بالضرورة عبارة عن حجر ، لان هناك صخوراً سائلة ، كالبترول .

وعلى الصخور يدخل في مجال **الجيولوجيا** ، بينما يدعى علم الترب **البيدولوجيا** pédologie .

وقد نجد احيانا فوق السفوح صخوراً سليمة ، ولكننا نجد على الغالب صخورا متفككة ، فاسدة ، تشكل تربا حقيقية ، فأنقاض الصخر هذه ، والتي هي نتيجة تفكك ميكانيكي بسيط أو نتيجة فساد كياوي متطور جدا ، هي التي سنتعرف عليها اثناء حركتها .

ثانيا ـ حركة الانقاض فوق السفوح

١ ـ **سقوط المهيلات** : ان العمل الميكانيكي الذي يحدث فوق انحدار

شـديـد يقود الى انفكاك الجلاميـد فورا وسقـوطهـا فـوق المنحـدر . وتنحـط الجلاميد متدهورة الى ان تصادف ميلا ضعيفا واقعا عنـد قـدم الجرف الصخري فتتوقف .



(شكل ٩) حدور المهيلات

وعن تراكم هـذه الجلاميـد فـوق بعضهـا البعض تتشكل كومـة فوضويـة تتوضع حسب الطريقة التالية :

ـ اذا كانت هذه المهيلات تسلك اثناء وقوعها ممرا فانها تتكدس في نهـايتـه السفلى ، وتشكل **مخروطا** تتجه نهايته أي رأسه نحو العاليـة أو المعلى upstream أو amont .

ـ أما اذا كانت الممرات التي تسلكها المهيلات قريبـة من بعضهـا البعض او اذا كان تساقـط الجـلاميـد يتم فـوق منحـدر دون المرور من الممرات الحتيـة ، فيتشكل حينئذ **تحدور** talus مستمر من المهيلات .

ويتعلق ميـل مخـاريط المهيـلات والحـدورات بحجم الانقاض الصخريـة وبكثافتها وبشكلها ولهذا تتروح زاوية الميل بين ٢٧ و ٣٧ درجة ويسمى ذلـك ميل **حدور الاتزان** أو سفح ريختر (شكل ٩) .

٢ ـ **الانهيالات الثلجية** : قد يتمكن الثلج ، في الاقطار الجبلية المعرضة لتساقط ثلجي كثيف ، من السقوط فجأة وبعنف فوق المنحـدرات ، على شكل انهيـال ثلجي . هـذا الانهيـال يسلـك **ممرات** يسـاهم هو بـالفعـل في اعطـائهـا تقاطيعها . وبمجرد ان يذوب الثلج تؤلف الانقاض التي اقتلعهـا معـه ، وذلـك

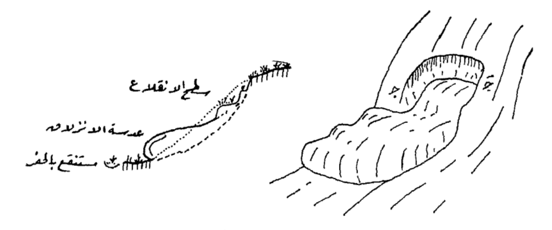
عند الوادي الذي انتهت اليه ، تؤلف كومة عديمة الشكل ، مؤلفة من حجارة ومن انقاض ناعمة في آن واحد .

٣ ـ **السيلان المنبث : يسيل** ماء المطر فوق السفح **على شكل خيوط** عاجزة عن حفر الصخر السليم ولكن الخيوط المذكورة تحمل عناصر دقيقة مأخوذة من التربة وهذا ما يمنح ماء السيول والفيضانات لونا اصفر .

غير أن هذا السيلان لا يتحول عادة الى عملية تخديد ، فهو لا يخدد الصخر الا اذا كان هذا الصخر قابلا للتحفير وكتيماً كالغضار ، او اذا كانت التربة محرومة من غطائها النباتي . فهذا السيلان لا يشكل خطوط قاع بل كل ما هنالك هو نوع من تطور يعتور السفح ، فالخيوط المائية تتحاشى الحواجز مهما قل شأنها ، وتتفاغم فيما بينها ، وينتهي بها الامر بأن تنقل الانقاض ، شيئا فشيئا ، من القمة نحو القاعدة .

٤ ـ **جريان التربة** solifluxion **انزلاقات الاتربة** les glissements de terrain : تستطيع الاتربة ، ولا نقصد بها صخرا كالغرانيت او البازلت ، بل عندما تكون مؤلفة من غضار او من تربة سميكة ، أقول تستطيع أن تبتلع الماء وتفقد قوامها الصلب . فهي تستطيع بالفعل ، في اعقاب ابتلاعها الماء ، ان تصبح مرنة ، بحيث تكفيها دفعة بسيطة لجعلها متحركة ، كما يمكنها فيما اذا كانت مبللة تماما بالماء ان تتصرف وكأنها سائل حقيقي . وفي كل الحالات تنقلع الكتلة المتحركة بشكل واضح نوعا ما من الجزء الواقع في عالية السفح (شكل ١٠) وتهبط على شكل عدسة او قد تجري على صورة مسكوبة وحلية حقيقية مؤلفة من عصيبات متتابعة وتقببات .

وانزلاقات كهذه يمكنها ان تتألف اذن من زمرة من عدسات صغيرة فوق السفوح ، او تشكل مجموعة كبيرة محددة مكانيا تستطيع ان تؤدي الى كارثة



(شكل ١٠ ـ أ) : انزلاق الاتربة
حـ حـَ : جرح الاقتلاع الذي يحد الكتلة
المتحركة من عاليتها

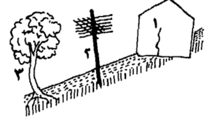
مخطط لانزلاق التربة (شكل ١٠ ـ ب)

حقيقية ، فيما اذا كانت هناك ابنية مشيدة فوق الارض التي راحت تتحرك .

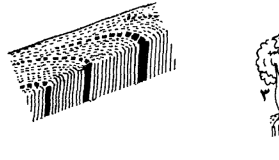
وتستعمل كلمة **جريان التربة** solifluxion للدلالة على حركة تعتري الانقاض الصخرية التي اصبحت مرنة او سائلة . ولهذا يجب تخصيصها بالانزلاقات الكتلية التي تعتري التربة او الصخور ، كالانزلاقات التي اشرنا اليها . ولكن بعض الجيومورفولوجيين يستعملون عبارة جريان التربة في معنى أكثر شمولا يضم ايضا الزحف عندما تكون هذه الحركة واضحة جدا .

٥ ـ **الزحف** creeping : وهذا لايكون عبارة عن حركة كتلية كالانزلاق بل عبارة عن **نزول يعتري غطاء الانقاض حبة فحبة** . ومن الطبيعي الا يعتري الزحف سوى التكوينات الرخوة كالرمال والترب . ويحدث هذا فوق المنحدرات التي تقل عن حدور الاتزان ، اي اقل من ٢٧ درجة ، لان الميل اذا تجاوز ميل حدور الاتزان ، فان الانقاض تتعرض للانهيال فتتدحرج . هذه الحركة قد تبدو مستغربة فوق ميل ضعيف نسبيا ، غير أن نمو الجذور

وفنائها ، وعمل الحيوانات السردابية ، كالخلد وفأر الحقل والزواحف ، والتبدلات المتكررة في حجم الانقاض والناجمة عن تغيرات الحرارة والرطوبة ، بالاضافة الى عامل هام جدا ، هو انجماد التربة وانحلال هذا التجمد ، تؤدي جميعا الى زعزعة الانقاض بشكل لا تدركه الحواس ، وتجعلها تنزل بسرعة ضعيفة جدا ، تعادل السنتيمتر الواحد خلال قرن (شكل ١١) .



بعض نتائج « الزحف »

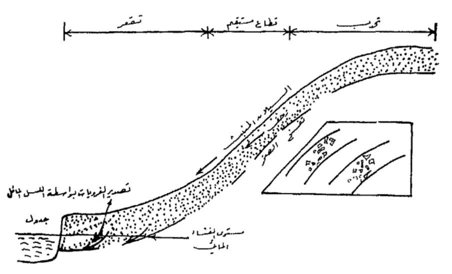


ظاهرة « الحصد »

(شكل ١١) : زحف التربة وتأثيراته على المساكن واعدة الهاتف والاشجار
وبالنسبة لظاهرة الحصد انظر ايضاً الصورة رقم ٣

ويمكن توضيح هذه الحركة للعيان بأن نلاحظ مثلا كيف تجنح الاعمدة المغروسة فوق السفح نحو الميلان ، وكذلك الاشجار ، مما يفسر بالفعل ان هذه الاعمدة والاشجار تظل مثبتة في الاعماق ضمن الارض الثابتة ولكن التربة السطحية تهبط ببطء كما لو كانت تزحف ، من هذا جاءت عبارة الزحف creeping

هذا ويكون الزحف اكثر سرعة بكثير في الاقطار التي تكثر فيها ظاهرة الانجماد الحاد منها في الاقطار التي يكون هذا الانجماد نادرا أو منعدما . ومع هذا فلا يجوز الخلط بين الزحف المتسارع في الاقطار المتجمندة gélifs مع



(شكل ١٢) : سطح لطيف مستور بغطاء من الانقاض

يشير القسم المنقط إلى غطاء الأنقاض . ويشير الشكل الصغير في الأيمن إلى تبدل تركيب عناصر هذا الغطاء أثناء حركة الزحف التي تعتري الحبات واحدة فواحدة . لاحظ على الشكل الكبير قطاعات السفح الثلاث : المحدب . المستقيم . المقعر .

جريان التربة solifluxion الذي ذكرناه آنفا والذي يكون اكثر شمولا وانتشارا .

ثالثا ـ مقطع السفوح :

لقد عرفنا فيما سبق ان لبعض السفوح مقطعا غير منتظم في حين يكون للبعض الآخر مقطع منتظم . فالسفوح غير المنتظمة هي تلك التي تتكشّف فوقها بضع طبقات صخرية لم تدفن بعد تحت غطاء المهيلات ، كما تكون السفوح غير منتظمة اذا كثرت فوقها عدسات الانزلاق . ولكن هناك الكثير من المنحدرات السفحية الملساء ، ويعود ذلك على الغالب لانها مستورة بغطاء من الانقاض الصخرية المتفتتة .

هذا وقد يكون هذا الغطاء من الانقاض ، في جزئه الواقع في السافلة ، عبارة عن شكل فوضوي من المهيلات التي اخذ النبات في تثبيتها ، بينما هو ،

في العالية ، عبارة عن غطاء رقيق نـاتج عن تجزؤ الصخر وعن بـدايـة الفسـاد فيه . وعندها نكون امام **سفوح ملسـاء ولكن ذات ميل شـديـد** كا نعهـد ذلك على الاكثر في الجبال . ولسفح كهذا ميل لا يزال قريبـا من ميل حـدور الاتزان ، ويسمى **سفح ريختر** Richter كبعض سفوح وادي بردى .

ولكن أكثرية التقاطيع التضريسية ترينا سفوحاً مغطاة بتربـة وذات ميل أضعف بكثير من ميـل حـدور الاتـزان . وتشير هـذه السفـوح اللطيفـة الى ان الحت كان لـديـه المتسع من الـوقت لتكييفهـا اكثر بكثير من سفـوح ريختر . فتكون **محدبة في قطـاعهـا العلوي ، ومقعرة في قطـاعهـا السفلي** بحيث تتواصل تدريجيا مع قاع الوادي أو مع حـدور talus في الاعلى . ويقع بين قمـة السفح المحدبة وقاعدته المقعرة احيانا قطـاع ذو ميل ثـابت يؤمن الاتصـال بين قطاع عالية السفح وبين قطاع سافلته ويدعى القطاع المستقيم (شكل ١٢) .

ومن غير الميسور تفسير مقاطع سفوح كهذه . ولنكتف الآن بـالاشـارة الى انها نـاتجـة عن انتقـالات بطيئـة اعترت الانقـاص كتلـك التي يحـدثهـا السيلان المنبث ، والزحف ، والغسل المـائل . وتختلف هـذه السفوح بـاختلاف الصخور نوعا ما . فعنـدمـا تكون الانقـاض النـاتجـة عن فسـاد الصخر منفـذة ، يكون تحـدب قمـة السفح نـاميـا جـدا ، كحـالـة السفوح الحواريـة أو الرمليـة . وعلى العكس اذا كانت الانقاض الناتجة كتيمة كا هو الحال فوق السفوح الغضـاريـة ، فان التقعر عن قاعدة السفح يكون متفوقـا ، منمـا يجنح القطـاع الاوسـط في الأكثر لأن يتحول الى عـدسـات انزلاق تشوّه انتظـام السفـح . هـذا كا يختلف انتظام السفح أيضاً باختلاف المناخات وسنرى في آخر الفصل السابع أن هنـاك سفوحـاً ذات قـاعـدة متطـاولـة جـداً ، تكاد تكون مستويـة ، ولكن لهـا ميل

طولاني محسوس ، تميز الاقطار الصحراوية والمدارية . وتطلق كلمة حادرو أو بيديمنت glacisعلى هذه المستويات المائلة عند اسفل السفوح .

ويرى بعض المؤلفين ان السفوح المحدبة في ذروتها والمقعرة عند قاعدتها هي « سفوح اتزانية » . ولا يجوز ان نفهم من ذلك بأن أشكالها اصبحت نهائية ، بل انها سفوح لا يعتريها أي تشوه عنيف ، كحادثة الانهيال مثلا . أي أن هناك توازنا بين سرعة تشكل الانقاض عن طريق تجزؤ الصخر تحت التربة السطحية وبين سرعة تفريغ هذه الانقاض ، اي تصديرها نحو المجرى المائي . وفي الواقع ، اذا كان التفريغ أكثر سرعة من تشكيل الانقاض بفعل عوامل التجوية ، فان السفح سيتعرض للتعري من غطائه ، ويبرز الصخر للعيان ولن يكون هناك غطاء متواصل منتظم . وعلى العكس اذا كان التفريغ عاجزا عن دعم سرعة انتاج الانقاض فان هذه ستتكدس وستغرق السفح تحت كتلتها فكلمة الاتزان تعني اذن ان هناك توازنا بين فساد الصخر وبين حمايته بالتربة التي تستره .

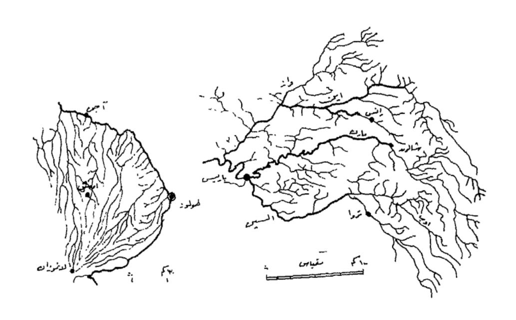
الفصل الثاني
النماذج الرئيسية للأحواض النهرية
والنماذج الرئيسية للمجاري المائية (الانهار)

مقدمة :بعد أن تعرفنا على عمل الحت فوق السفوح سنحاول الآن دراسة عمل المجاري المائية . غير أن هذه المجاري ليست عبارة عن عوامل منعزلة ، بل تنتظم في أحواض .

أولا ـ النماذج الرئسية للأحواض النهرية :

لا تتماثل كل الاحواض النهرية فيما بينها ، ولنأخذ بعض الامثلة ؛ فروافد الضفة اليسرى لنهر الغارون في منطقة آرمانياك Armagnac في جنوب غرب فرنسا ، تدلنا على وجود شبكة مؤلفة من نهيرات متوازية أو كأنها منطلقة من مركز واحد كالمروحة . وفي ذلك صورة عن شبكة **بدائية** ، غير متسلسلة لأننا لانلاحظ فيها أي تمايز بين الانهار الصغيرة والأنهار الكبيرة وكأنها جميعا متساوية (شكل ١٣) .

وعلى العكس ذلك نرى روافد الضفة اليمنى لنهر السين وهي تبدو على شكل شبكة معقدة تحوي انهاراً كبيرة مثل المارن أو الواز ، مثلما تحوي اهاراً صغيرة مثل الاوب ، وتحوي اخيرا روافد ثانوية ترفد الروافد مثل نهر الاين Aisne أو الفسل Vesel اذن نجد هنا تسلسلا متكاملا ، ويقال أحياناً لها شبكة شجرية الشكل ، أي على شكل شجرة تحوي على جذع وعلى اغصان رئيسية وعلى أفنان .



(شكل ١٣)

تبدو في الشكل الايسر ، روافد نهر الغارون اليسرى في مقاطعة آرمانياك ، وهي قليلة التسلسل من حيث المراتب . ونرى في الشكل الايمن شبكة متسلسلة لروافد نهر السين في ضفته اليمنى حتى التقائه بنهر الواز شمال غرب باريس .

هذا كما تتنوع كثافة المجاري المائية ايضا ، فتضعف جدا في المناطق ذات الصخور المنفذة ، كما في جبل الزاوية ومنطقة حلب ، لانها تتألف من صخور كلسية وحيث تغور المياه في الاعماق ، في حين نجدها على العكس تؤلف حزما متقاربة في المناطق الغضارية حيث نجد لكل مسيل جدوله الخاص به .

وقد تكون بعض الشبكات النهرية مقطعة ببحيرات حتى لكأن المنطقة عبارة عن بلاد اسفنجية . تلك هي حالة النظام النهري في فنلندا وكندا الشرقية او في ايرلندا ، او هضبة افريقيا الشرقية التي ينطلق منها نهر النيل ، بينما نجد مناطق غيرها فقيرة جدا بالبحيرات .

كما تختلف ابعاد الاحواض النهرية ذاتها الى حد كبير . فمساحة حوض نهر الأمازون تبلغ بضعة ملايين من الكيلو مترات المربعة . وعلى عكس ذلك نرى

ان قارة ضيقة أو جزيرة تحوي على احواض نهرية أقل مساحة بكثير . فانهار سورية الساحلية ذات أحواض صغيرة جدا ، كنهر القنديل مثلا ، كما لا تتجاوز مساحة أي حوض نهري في بريطانيا مقدار ١٢٠٠٠ كيلو متر مربع ، أي أكثر من مساحة لبنان بقليل .

وهناك مناطق في العالم لا تشمل على أي جريان مائي ، كالمناطق الكثبانية الكبرى في الربع الخالي او في العرق الغربي والعرق الشرقي في المغرب العربي ، وعندها نقول انها مناطق **عديمة الصرف** aréiques . وتجاه ذلك نجد مناطق تحوي على نهر أو اكثر ولكنها لا تصب في البحر ، بل تتلاشى في بحيرة موقتة او دائمة ، كنهر شاري في التشاد او في نهر قويق الذي تنتهي مياهه لتتبخر في مستنقع المطخ ، قبل تجفيفه ، أو نهر بردى الذي كان ينتهي في بحيرة العتيبة والنهر الاعوج في بحيرة الهيجانة قبل ان تتحولا الى مزارع بعد استنزاف مياهها في الري . وفي هذه الحال نقول انها مناطق **داخلية الصرف** endoréiques وأخيرا هناك مناطق اخرى تحتوي على حوضات نهرية تصب في البحر كأنهار سورية الساحلية والفرات وكل انهار اوروبا تقريبا ، هذه المناطق تدعى ذات **صرف خارجي** exoréiques

وتنتج هذه الاختلافات الاخيرة عن التضريس في بعض الحالات وعن المناخ في الحالات الاخرى . وفي الواقع لنفترض في منطقة بحيرة التشاد ان كميات المياه الساقطة من السماء ازدادت لدرجة عظيمة وان التبخر قد تناقص بسبب برودة اصابت المناخ ، فان مستوى البحيرة المذكورة سيتعرض للارتفاع تدريجيا الى ان يبلغ مستوى أخفض نقطة في حافة البحيرة ، وعندئذ ستنسكب مياه البحيرة في نهر دائم كأحد روافد نهر النيجر وعندئذ سينتصر الجريان الخارجي . وكذلك لو تبدل المناخ في منطقة دمشق فان مستوى المياه

في بحيرة العتيبة السابقة سيرتفع الى ان تجتاز المياه عتبة زاكية في الجنوب ليصبح نهر بردى رافدا لنهر اليرموك . هذه الحالة المقترضة حدثت في منطقة بحيرة بايكال في سبيريا حيث شكلت الحركات التكتونية انهياراً كبيرا ولكن في مناخ رطيب جعل ماء البحيرة يخرج من مصرف هو نهر آنغارا . وبالحقيقة فان المناطق العديمة الصرف تقع تحت مناخات صحراوية لا يسقط فيها سوى النادر من المطر وحيث يكون التبخر بالغ الشدة بحيث يستطيع تبخير شريحة من الماء تبلغ سماكتها اربعة أمتار ، في خلال العام ، كما في شمال التشاد أو فوق البحر الميت .

ثانيا ـ النماذج الكبرى للمجاري المائية :

تختلف المجاري المائية بأبعادها وبمظهرها ، ولنأخذ بعض الامثلة :

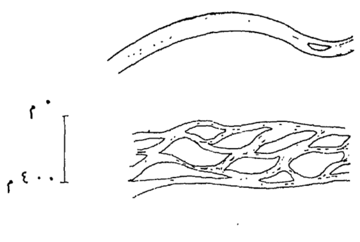
نهر الامازون : وطوله ٦٠٠٠ كيلو متر ويقذف في المحيط الأطلسي وسطيا اكثر من ١٠٠٠٠٠ متر مكعب من الماء في الثانية ، وعرضه ثلاثة كيلو مترات وسطيا في سريره الرئيسي . ولكن علينا ان نضيف الى ذلك القنوات الجانبية الموازية له ، والمستنقعات التي تغمر بالماء خلال النصف المطير من السنة . اذن نجد أننا لسنا امام مجرى مائي عظيم بل تجاه منطقة برمائية واسعة تدعى فارزيئا Varzea

الفرات : وهو نهر اكثر تواضعا من النهر السابق لأن طوله لا يتعدى ٢٣٠٠ كيلو متر ، وعرضه الوسطي ٣٠٠ متر ، وينقسم احيانا الى ذراعين يضمان جزرا تدعى حوائج (مفردها حويجة) . وصبيبه الوسطي عند مدينة الثورة (الطبقة) ٨٥٠ مترا مكعبا في الثانية ، أي أن صبيبه الوسطي يقل ١١٧ مرة عن صبيب الامازون .

نهر عفرين : ويحوي في مجراه الادنى ، أي في سهل الجومة ، سريراً مؤلفا من تيارات متفاغمة تحصر فيا بينها جزيرات حصوية على عرض يبلغ الخمسين مترا (شكل ١٤) ويكون صبيبه السنوي في حدود ثمانية أمتار مكعبة في الثانية .

وهناك نهيرات صغيرة لا يجري فيها سوى بضعة لترات في الثانية وتقفز مياهها من فوق حجرة لأخرى ولا يتجاوز طولها بضعة كيلو مترات كالعديد من الاودية المنحدرة من جبل العلويين باتجاه البحر الابيض المتوسط ، والتي لاتمثل سوى نماذج مصغرة عن الانهار العادية . ولكن علينا الاقرار بأن امثال هذه النهيرات كثيرة على سطح الارض .

وقد نصادف بعض النهيرات **الوقتية** . فقد لوحظ في الاودية الواقعة في منطقة ايتامب Etampes الواقعة على مسافة خمسين كيلو مترا جنوبي باريس ، ان مجاري الماء لا تجري هنا الا بعد زخات المطر الشديدة ، او حتى بعد



شكل ١٤ ـ نموذجان من المجاري النهرية

النموذج الاعلى يمثل على العموم سريرا وحيدا (نموذج الفرات) ينقسم أحيانا الى شطرين يحصران جزيرة فيا بينهما ، كالفرات عند دير الزور ، أما الاسفل فيتألف من قنوات متفاغمة منفصلة عن بعضها بجزيرات حصوية مثل نهر عفرين في سافلة المدينة التي تحمل الاسم نفسه .

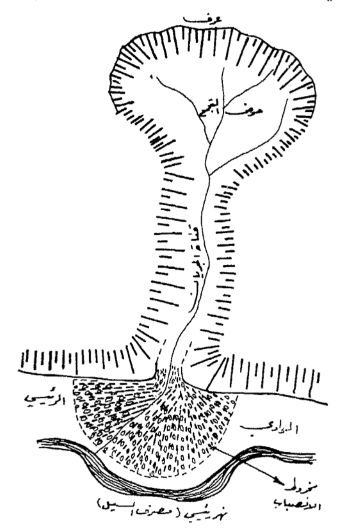
الامطار الطفيفة اذا كانت التربة المتجمدة تحول دون تسرب الماء في الثرى ، وهذا يلفت النظر لان المنطقة لا تخضع لمناخ قاحل .

وقد نلاحظ ان أنهاراً متماثلة من حيث الصبيب كنهر السين في باريس ونهر دورانس في جنوب شرق فرنسا ولكن مظاهرهما تختلف للغاية . وتفسر هذه الاختلافات بالمناخ لان النهر الثاني واقع تحت تأثير المناخ الرومي (المتوسطي) المتصف بشدة اختلاف امطاره بين الفصول ، في حين يقع نهر السين تحت مناخ معتدل ، مثلما تفسر اختلافات امطاره بين الفصول ، في حين يقع نهر السين تحت مناخ معتدل ، مثلما تفسر اختلافات المظهر بالتضريس ايضا ، لان نهر دورانس Durance ينبع من منطقة جبلية هي السفوح الجنوبية لجبال الألب ، فيكون انحدراه أكثر شدة ويحمل معه الكثير من الحصباء الكبيرة الحجوم التي جلبها من الجبل في حين لا يحمل نهر السين سوى حبات رملية . ويحتل الفرات مركزا وسيطا بين هذين النموذجين لانه يجلب معه حصباء ورمال ومواد غرينية فهو نهر جبلي في عاليته وسهلي في سافلته ، لا سيا بعد مسكنة .

واستنادا الى نوعية الصخور التي تشكل سرير النهر نستطيع تمييز عملية نحت في الصخر المحلي أو نميز تقاطيع خاصة في اللحقيات فعندما يحفر المجرى المائي سريره في الصخر المحلي ، فهو يحفر خنادق عميقة ويعمل كالمثقب في حفر تجاويف دائرية تدعى **قدور الجبابرة** ، كالفج في معلولا الذي تم حفره في مناخ اكثر رطوبة من الحالي ولا نزال نرى على جوانبه قدور الجبابرة المعلّقة . أما اذا كان النهر يجري في سرير لحقي ، فيكون سريره ، على العكس ، مؤلفا من جزيرات رملية تنفصل عن بعضها بقنوات ضحلة ، كنهر بردى بين الربوة وقلب دمشق .

هذا وقد يكون للنهر من أوله لآخره انحدار منتظم كنهر السين مثلاً أو يكون مؤلفاً من قطاعات هادئة تنفصل عن بعضها بجنادل وحتى بشلالات وتنطبق هذه الحالة على أكثرية الأنهار الافريقية الكبرى مثل النيجر بعد عقفته الشمالية او الكونغو ، او الزامبير او النيل الخ ..

السيل : ولكن علينا ان نخصص مكانة خاصة لنموذج معين من المجاري المائية وهو **السيل** (شكل ١٥) وهو عبارة عن عضو مائي قصير ، ذي احدار شديد ، يعمل في منطقة ذات صخور قابلة للتحفير ، غضارية أو حوارية



شكل ١٥ ـ الأجزاء الثلاثة في سيل تقليدي .

مارنية على الاكثر ، وتحت مناخ يمنحه صبيبا متقطعا ، اذ يتناوب فيه الشح مع الفيضانات الفجائية . ونرى من هذا التعريف ان عبارة السيل لا يجوز ان تطلق على نهر جياش كنهر الفرات لان لهذا النهر صبيبا منتظما نسبيا ولا يعمل حصراً في صخور قابلة كلها للتحفير ، بل تصح على الكثير من اودية القلمون أو وادي منين قرب دمشق .

ويجعل عنف العمل الحتي على السيول من هذه المجاري المائية مخابر جيومورفولوجية واقعية لاننا نرى التضريس وهو يتطور فيها تحت ابصارنا . فالسيل يتألف من جزأين أو من ثلاثة اجزاء . فالجزءان الثابتان هما واديه الطويل الخطي ذو القطاع العرضاني على شكل رقم ٧ ويدعى **قناة الجريان** ، ونوع من مروحة لحقية واقعة في المكان الذي يلتقي فيه بالوداي الرئيسي ، هذه المروحة تدعى **مخروط الانصباب** . اما الجزء الثالث وهو جزء قد نفتقده في بعض السيول فهو **حوض التجمع أو حوض الاستقبال** ، وفي هذه المنطقة التي تتجمع فيها كل مياه المسيلات الرافدة المتعددة ، يتشكل ، في عالية السيل ، السرير السيلي .

هذا ويقوم السيل بالحت في حوض التجمع وفي القطاع العلوي من قناة الجريان ، ولكن نرى مع ذلك في قناة الجريان جلاميد متراكمة يتعهد الفيضان القادم بدحرجتها ، وتشبه اوضاع هذه الجلاميد بعربات القطار التي تنتظر في المحطة القاطرة المقبلة لسحبها . ويقوم النهر فوق مخروط الانصباب بعملية التوضّع أو الإرساب لان انحداره قد تناقص فجأة وبالتالي كُبحت سرعة المياه على حين غرّة ، وعندها لا يكون لدى السيل العزم الضروري لنقل الانقاض الصخرية القادمة من قناة الجريان . وعندئذ يتخلى عن الانقاض ، وعند توضيعها ، فانه يقوم بتعلية سريره وبذلك يتشكل المخروط السفلي على

ميـل طـولاني يعـادل ميـل الجريـان كي تتمكن المواد التي يمكن نقلهـا في قنـاة الجريان من ان تُنقل بدورها ايضا من فوق المخروط .

ولكن السيل بممارسته التعلية المستمرة انما يهيمن على المنـاطق الملاصقـة لـه ، وعنـد اول زود في ميـاهـه او فيضـان ، يترك سريره كي يحتـل سريراً آخر في وضع اخفض ، وهذا السرير الجديد يتعرض للتعلية ، فيتركه السيل باحثـا عن سرير آخر وهكذا دواليك . وهكذا يتشكل المخروط الذي تقع قمته عند مدخل قنـاة الجريـان في الوادي الرئيسي . والسيل بتـأرجـه فوق مخروطـه يجعـل من جـواره منطقـة خطرة لاسيا وان القرى تبحث عن مـواقـع فـوق المخروط نظراً لخصوبة التربة . وقـد يبنى سـد في وجـه السيل ، ولكن السيول تتمكن احيـانـا من ان تبقر السد وتخلق سريرا آخر ، وفي اكثر الاحيـان لا يجري تثبيت مجرى السيل حسب محور قناة الجريان بل باقامة حواجز جانبية تعمل على ترويضـه وتحول دون تجواله .

هذا وقد تستطيع مخاريط الانصبـاب ان تقسر المجرى النهري الرئيسي على التراجع نحو السفح المقابل من الوادي وهكـذا تـدفع مخـاريـط روافـد الـدجلـة اليسرى القادمة من جبـال زاغروس نهر الـدجلـة نحو الغرب . كما ان نهر الرون في منطقة فالية Valais يتلوى بين المخاريط التي تجبره على الالتصاق بـالتعـاقب بالضفة اليمنى ، ثم بالضفة اليسرى من المجرى الضيق الذي يجري فيه .

ويسمح السيـل بطرح معظم المشـاكل المتعلقـة بـالحت النهري وبفهم بعض آليات عمل الانهـار : كمشكلـة نقل الانقـاض التي يقـدمهـا الحت ، وطرائق نقل هـذه المواد وتوضّعهـا . وهكـذا لاحـظ المهنـدس سوريـل Surell الـذي نشر في ١٨٤١ أول مؤلف علمي كبير عن السيول فقال : « لقـد سلكت الميـاه في البـدء تضريس أرض غير مستوية فهـدمت تـدريجيـا نتوءات المنحـدر . فهنـا ائتكلت

وهناك انهضت ... ونتيجة كل هذه الاعمال كانت نشوء منحنى لسرير جديد مناسب ، بشكل افضل من المقطع البدائي للأرض ، من أجل تصريف الماء » . وبهذه العبارة اقترب هذا العالم من مفهوم مقطع الاتزان في الانهار .

ثالثا ـ اشكال السرر :

١ ـ **تعريف** السرير هو المجال الذي يمكن ان يحتله الماء في نهر ما . ولكن هذا التعريف الغامض بحد ذاته يتطلب توضيحات ، لان للنهر بضعة أسرّة .

فالسرير الاعظم ، أو سرير الفيضان ، أو كما يسمى أيضا **سهل الفيضان** ، هو كل النطاق الذي يغمره النهر وحيث تستطيع أن تغطيه « اللحقيات الحديثة » كما في الخرائط الجيولوجية وهو « الزور » . وهو أكثر عرضا بكثير من السرير العادي . أما **السرير العادي** أو بشكل أصح **السرير الظاهري** فهو القناة المحصورة بين ضفتي النهر ، والذي تحتله المواد المدحرجة بواسطة الماء ، والذي لا تحجبه النباتات او المساكن البشرية ، على خلاف السرير الاعظم ، ولكن في الوقت العادي لايكون هذا السرير « العادي » مشغولا بالماء لان جزيرات « حويجات » من الرمال او من الحصباء قد تظهر فيه .

غير ان **قناة الشح** ، أو الصيهود في العراق ، أو التحاريق في مصر ، أي القناة التي تجري فيها المياه في فترات شح المياه ، لا تحتل الا جزءا صغيرا من السرير الظاهري ، لاسيما في حالة الانهار ذات النظام المضطرب كنهر الكبير الشمالي ومعظم انهار البحر الابيض المتوسط . فقناة الشح هذه لا تكون محدودة بضفاف واضحة . وحتى في سرير ظاهري مستقيم نرى فيه القناة المائية وهي

تتلوّى كالأفعى في داخل هـذا السرير الظـاهري وتتجول بين ضفـة واخرى . وهكذا قد تنقسم الى أذرع متفاوتة في عددهـا ، كحـالـة نهر عفرين في الصيف في سهل الجومة كما سبق وذكرنا (شكل ١٤) .

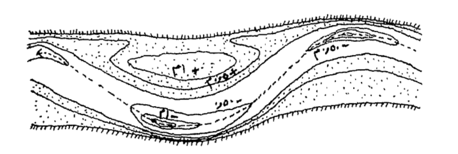
مـلاحظـة : نحن لا نستعمـل عبـارة السرير الاصغر ، لانهـا تبعث على الإلتباس ، فهي تدل تارة على السرير الظاهري وتارة على قناة الشح .

أمـا **عرض السرير** الافضل تعريفـا فهو عرض السرير الظـاهري ، ومع هذا علينا ان نحتاط عند انقسام هذا السرير الى قسمين أي حيثما يطوق جزيرة نهرية اي « حويجة » .

٢ ـ مـواد السرير . يمكن ان تكـون مـواد السرر النهريـة مـؤلفـة من الصخر المحلي كما في مجاري السيول الجبلية مثل فج معلولا ، او من مواد منقولـة بواسطة التيار المائي ، ونعني بها **اللحقيات** . ويستطيع نهر مـا ان يجري فوق سرير لحقي دون ان يعني ذلك انه يقوم بتعلية سريره . ومن المـألوف بـالواقع ان تكون مواد قاع السرير متحركة ، تخلّى عنهـا فيضـان سـابق ، كي يتلقفهـا فيضان لاحق .

وقد تعرضت مواد السرير الظاهري أو السرير الأعظم إلى التهـذيب بفعل النقل . فتكـون مشـذبـة بصـورة متفـاوتـة فـزالت زوايـاهـا ، فـإذا كانت من الحصويات فإن هـذه الحصى قـد استـدارت وأصبحت حصبـاء galets . وتحليل قيـاس الحبـات أو علم الغرانـولـومتري granulométrie هـو الـذي يسمـح بمعرفـة مقياس هـذه اللحقيـات . ففي السرير تتجـاور الرمـال مع الغرين (الليمون) ومع الحصباء ، ويزيد حجم هذه الحصباء كلما كان التيـار النهري الـذي نقلهـا سريعا .

وأكثر المناطق عمقا في قناة الشح هـذه هي الواقعـة في المنعطفـات ، عنـد



شكل ١٦ ـ طبغرافية سرير ظاهري مع قناة الشح

ويتمثل الشكل على شكل مستو مع منحنيات التسوية (كنتور) . ويكون فارق الارتفاع بين منعطفين متعاقبين مقداره ٠,٥ م . ويدل الرقم صفر على مستوى الشح ، أي أخفض مناسيب الماء . وتشير الأماكن المنقطة إلى السرير الواقع فوق سوية الشح . وتشير الخطوط المسننة إلى حدود السرير الظاهري ، حيث يبدأ بعدها السرير الأعظم ، أو سرير الفيضان . أما الخط المتقطع فيدل على خط أكبر سرعات التيار .

حافة الضفة ، في حين أن القطاعات المستقيمة التي تجتاز المجرى النهري بصورة مائلة ، منطلقة من منعطف لآخر ، تكون أقل عمقا . فالأجزاء العميقة تدعى المغارق mouilles في حين تدعى الأجزاء الضحلة والمستقيمة والمائلة بالنسبة لمحور السرير الظاهري العتبات seuils (شكل ١٦) .

رابعا ـ الأكواع النهرية ، أو المنادر méandres

ترسم قناة الشح في النهر تعرجات في داخل السرير الظاهري ، وبشكل خاص عندما يكون هذا السرير مستقيما . غير أن السرير الظاهري قد يحوي أيضا على تعرجات ، ولا تطلق كلمة كوع méandre[٨] على كل هذه التعرجات بل تخصص هذه العبارة لكل **خط مائي ينحرف دون سبب ظاهر عن اتجاه الجريان كي يعود إليه بعد أن رسم انعطافا شديداً .**

(٨) مأخوذ من اسم نهر (Méandre) في تركيا الغربية والمشهور بشدة تعرجاته ويدعى نهر مندرس باللغة التركية .

ويؤلف الكوع طابعا كثير التكرار في شكل المجاري النهرية : فقد نجد منها على أنهار هادئة مثل نهر الأعوج أو نهر السين بعد باريس أو نهر العاصي عند سلقين مثلما نجد بعضها على أنهار سريعة نسبيا كنهر الموز Meuse في شمال شرق فرنسا أو الفرات في سورية بعد السد .

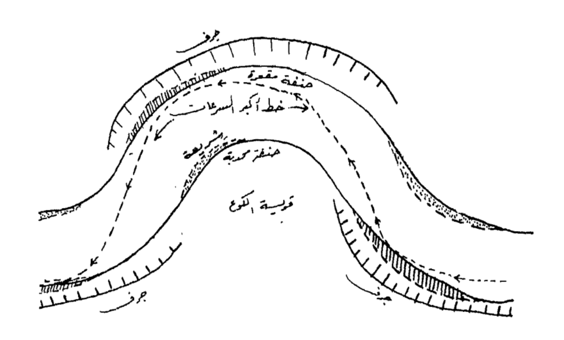
ومع هذا يمكن تمييز نموذجين من الأكواع النهرية :

ـ **أكواع الوادي** ، وتدعى أيضا **الأكواع المتعمقة** ، وهي حالة تتحقق عندما يتلوى الوادي ذاته مثل النهر وعلى نفس المقياس كأكواع نهر العاصي بين الرستن وحماه .

ـ **أكواع السهول اللحقية** ، وتدعى أيضا ، وهذا خطأ ، **الأكواع الحرة أو الأكواع المترنحة** ، وهي حالة تتحقق عندما تكون التعرجات على النهر مستقلة عن شكل الوادي وعلى مقياس أصغر منه .

هذا ولا تقل أكواع الوادي حدوثا في الطبيعة من أكواع السهل اللحقي . فأكواع نهر الموز في منطقة الأردين Ardenne الفرنسية قد تعتبر أكثرها نموذجية ، في حين تعتبر أكواع الفرات في سورية ونهر الأردن بعد بحيرة طبريا ونهر الدانوب في هنغاريا وأكواع نهر المسيسيبي أكواعا نموذجية في السهل اللحقي .

فالكوع وحتى التعرج البسيط نفسه **يجنح إلى المبالغة** أي إلى الاستفحال . وفي الحقيقة يبتعد التيار النهري الرئيسي نحو الطرف الخارجي من الكوع ، أي يجنح إلى المرور قريبا جدا من الضفة المقعرة . (وصفة مقعرة أو محدبة نأخذها دوما كما لو كنا ننظر إلى ضفة النهر من قناة الجريان) . وهكذا نلاحظ في زمرة من الأكواع كيف يقوم التيار بالالتصاق بالضفة اليمنى

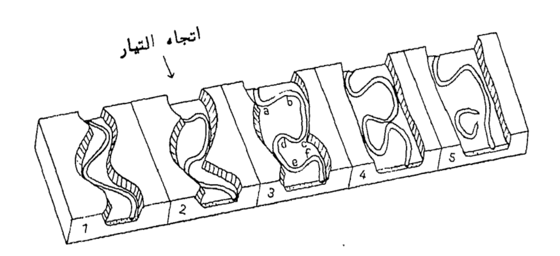


(شكل ١٧) ـ استفحال الكوع بفعل الحفر (خطوط صغيرة متراصة) على الضفاف المقعرة ، وبتأثير الأطماء (القسم المنقط) على الضفاف المحدبة . لاحظ جنوح الكوع إلى الانزلاق باتجاه السافلة .

وبالضفة اليسرى بصورة متعاقبة ، راسماً تعرجات أكبر من محور السرير الظاهري ، وجانحاً إلى مبالغة هذه التعرجات لأن مكان السرعات الكبرى هو مكان الحت الأقصى (شكل ١٧) . وهكذا تنحفر الضفة اليمنى أكثر فأكثر ، في حين يتخلى التيار ، المفرط في بطئه بالنسبة لحمولته من الأنقاض الصلبة ، يتخلى عن قسم من هذه المواد ويبني شريعة حصوية عند الضفة المحدبة . وبذلك يستفحل الانعطاف .

وبهذا التطور تصبح الضفة المقعرة على شكل جرف ، في حين تكون الضفة المحدبة ، التي يبنيها الكوع ، منخفضة واطئة وتسمّى شريعة .

وعن طريق استفحال الانعطاف قد يتقاطع كوعان متجاوران ، ويتم هذا التقاطع بصورتين مختلفتين :



(شكل ١٨) ـ تطور أكواع متعمقة ، بتأثير الهجرة نحو السافلة وتقويم الوادي ، نحو أشكال أكواع السهل اللحقي .

في رقم ١ و ٢ استفحال التعرجات . في ٣ تشكل الكوعين (a.b.c و f e.d.c) في ٤ التقاطع بالتماس . وقد أصبح الوادي الأصلي مقوما . في ٥ لم يبق سوى ذراع ميت أو بحيرة هلالية من الكوع القديم f.e.d. c)

ـ بفعل **الطفحان** ، وذلك عندما ينغمر كل السهل أثناء الفيضان ، فيحتفظ التيار بعد هبوط الماء بطريق مستقيم أقل طولا عوضا عن أن يرسم كوعا ، وهذه الطريقة تكون مستحيلة طبعا في حالة كوع متعمق .

ـ بفعل **التماس** وذلك عندما يؤدي استفحال الانعطاف إلى القضاء تماما على عنق الكوع (شكل ١٨ رقم ٤) .

وما إن يتحقق الانقطاع المذكور ، حتى يتلاشى الكوع القديم ولا يبقى منه سوى **ذراع ميت** (شكل ١٨ ـ ٥) كتلك التي تدعى ox - bow (قلادة الثور) في وادي الميسيسبي . ويؤدي انقطاع عنق الكوع إلى تماس نقطتين من المجرى النهري كانتا مبدئيا واقعتين على مسافة ما من بعضهما البعض أي على سويتين مختلفتين ، مما يؤدي أحيانا لنشوء شلال ، يظل قائما بعض الوقت إذا كان هذا الشلال فوق صخور قاسية ، كشلال لاوفن Lauffen على نهر Neckar الألماني .

وفي الوقت نفسه الذي تستفحل فيه الأكواع ، أي يزداد عرض مجال

تجوالها ، تقوم **بهجرة باتجاه السافلة** لأن خط السرعات الكبرى يحتاج لبعض الوقت كي يبلغ انتقاله الأقصى باتجاه الضفة المقعرة . وتؤدي هذه الهجرة باتجاه السافلة إلى تعيير calibrer كل الوادي حسب أبعاد ومقاييس الأكواع ، مما يحول أكواع الوادي إلى أكواع السهل اللحقي الكاذبة (شكل ١٨) . ولهذه الهجرة نتيجة أخرى أكثر غرابة : فنهر صغير قد يتعرض للأسر بواسطة كوع متجول ، كحالة نهر سانت أو ستربرت الذي أسره نهر السين في سافلة مدينة روان ، ونهر الموران الكبير الذي أسره نهر المارن عند بلدة إيسبلي Esbly .

ومن العسير جدا معرفة سبب كون أحد القطاعات على نهر ما يحوي على أكواع ، في حين أن القطاع الآخر يقتصر على مجرى مستقيم .. ومن غير الصحيح ، في كل حال ، القول بأن الكوع هو دليل على عجز النهر في الجريان . فلكي يستطيع نهر ما أن يرسم أكواعا ، نجد على العكس ، أن من الواجب أن يكون على قدر كاف من القدرة كي يستطيع نسف وتقويض صخور ضفته ، ومن المعروف أن هذه القدرة الكافية لا تحتاج لأن تكون كبيرة جدا بالنسبة لأكواع سهل لحقي كأكواع الفرات أو العاصي عند سلقين ، على خلاف الحال بالنسبة لأكواع متعمقة مثل العاصي عند الرستن . ففي هذه الحالة الأولى لا يقوّض النهر سوى لحقيات هشة ، في حين يكون مضطرا في الحالة الثانية إلى أن يتصدى للصخور التي يتعمق فيها وخاصة إذا كانت من النوع الشديد المقاومة .

ومن غير الصحيح التفكير بأن الاكواع المتعمقة encaissés قد تشكلت قبل الحفر فوق سطح مستو وإنها تعمقت في مكانها كما هي خلال الحفر . وكل كوع يتطور باستمرار ، سواء كان متعمقا أو في السهل اللحقي : فالنهر السريع الجريان يكون قادرا تماما على صنع الأكواع خلال تعمقه .

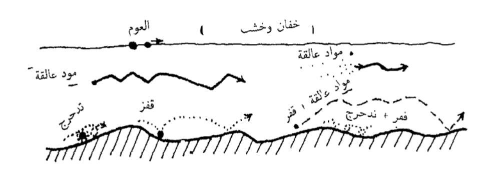
الفصل الثالث

قدرة وحمولة الأنهار ومقطع الاتزان

مقدمة : يتألف عمل مجرى الماء أو النهر ، من نقل الأنقاض ، ومن الحفر ، ومن التوضيع أو الإرساب . وعلينا أن نعرف كيف تتناسق هذه النماذج الثلاثة من العمل النهري حسب مختلف نقاط السرير وكيف تختلف باختلاف الأنهار .

أولا ـ حمولة النهر : ينقل كل نهر ، في برهة معينة ، حمولة معينة ، مؤلفة من عكر عالق ، ومن أنقاض مدحرجة على القاع ، ومن أنقاض تتدحرج على القاع تارة وتنتقل بين فيضان وآخر تارة أخرى ، وفي هذه الحالة الأخيرة نقول هناك نطّ أو قفز saltation .

وتعريف الحمولة يكون بمعرفة وزن المواد الغريبة في كل متر مكعب من الماء وبمقاييسها ، فكل الأنقاض التي نجدها في متر مكعب من الماء مأخوذة من النهر كيفما اتفق لا يكون لها نفس المقياس calibre ، فهناك غرين (ليمون limon) ، ورمال ، وربما حصباء ، وحتى جلاميد . فالحمولة الصلبة في ماء الفرات قبل بناء سد الفرات عند الرمادي مثلا كانت تبلغ ١٣٠ غرام / م٣ / ثا في فترة الصهيود كي ترتفع إلى ١٨٠٠ غ / م٣ / ثا في فترة الزود أو الفيضان في أيار . وتبلغ هذه الحمولة على النيل أثناء فيضانه ١٦٠٠ غ / م٣ / ثا فكان ينقل سنويا ، قبل بناء السد العالي ، ١٠٠ مليون طن في العام ، يأتي بمقدار ثلثيها أو ٦٨ ٪ في فترة الفيضان (آب إيلول) أي من ايثيوبيا . فكان هذا الغرين



(شكل ١٩) : طرائق نقل الأنقاض .

يتوزع على الأراضي الزراعية بمعدل ١٣ طن بالهكتار . وتبلغ الحمولة عند القاهرة ١٧٠ غ/م³/ثا ، ولكن الصبيب الصلب في التحاريق (نيسان إلى تموز) كان أكثر من ٢٠٠ غ / م³ / ثا وكل هذا قبل بناء السد العالي .

ثانيا ـ القدرة puissance الخام والقدرة الصافية .

لكل نهر في فترة معينة ، وفي نقطة معينة من مجراه ، قدرة معينة . وتتعلق هذه القدرة بحجم الماء أي بالصبيب محسوبا بالأمتار المكعبة في الثانية ، وبالسرعة . وتتعلق السرعة ذاتها بالانحدار الطولاني لمجرى النهر ، وتحسب على أساس انخفاض المجرى المذكور في كل كيلو متر واحد . ويستهلك جزء من قدرة النهر في نقل الحمولة ، أي الغرين limons ، والرمال والحصباء المنقولة ، في حين يستعمل جزء آخر في الاحتكاكات الداخلية ، أي تلك التي تحصل بين التيارات المائية وخاصة عندما يحوي النهر على دوامات . فإذا كانت القدرة المستهلكة في نقل الحمولة بالإضافة إلى القدرة المستهلكة في احتكاكات الماء الداخلية غير كافية لاستنزاف كل قدرة النهر ، فإن الفائض المتوفر يستعمل في حت السرير ، فيكون لدى النهر بالواقع قوة كافية لكي يقوم بالحفر . وتسمى القدرة الكلية **القدرة الخام** brute وتطلق عبارة **القدرة الصافية** nette على القدرة المتبقية عندما نطرح من القدرة الخام تلك التي

يستهلكها نقل الحمولة والاحتكاكات الداخلية ، أو بعبارة أخرى ، القدرة الصافية هي التي تستعمل في عملية الحت .

وإذا كانت القدرة الخام كافية فقط للنقل والاحتكاكات ، فإن القدرة الصافية تكون عندئذ منعدمة ، فيكون النهر عاجزا عن الحفر ، وإذا كانت القدرة الخام غير كافية للنقل وللاحتكاكات الداخلية ، فلا يكون النهر عاجزا عن الحفر فحسب ، بل يكون مضطرا للتخلي عن قسم من حمولته ، وعندها يوضِّع ، أي يرسِّب .

ثالثا ـ الانحدار أو الميل الاتزاني في كل نقطة

عندما لا يقوم النهر بالحفر أو التوضيع ، يقال إنه في حالة اتزان أو أنه يجري فوق انحدار توازني لأن له انحداراً يوفر له السرعة الكافية فقط لمنحه قدرة تؤمن عملية النقل والاحتكاكات الداخلية .

وإذا كان النهر يحفر في العالية ، إذا لا يوجد أي سبب يدعوه لأن يحفر كذلك في السافلة ، فإن انحداره يتناقص بين المكان الذي يحفر عنده وبين المكان الذي لا يتغير فيه الارتفاع أي في السافلة . وبمجرد أن يخفف النهر من انحداره ، فإنه يقوم أيضا بتنقيص سرعته ، وبالتالي قدرته ويجنح عند ذلك إلى الكف عن الحفر ، وبالحصول على الانحدار التوازني . ويمكننا صنع نفس المحاكمة بالنسبة لنهر يقوم بالتوضيع . فعندما يوضِّع في سريره في نقطة ما ، إذ لا سبب يدعوه لأن يوضع في السافلة ، فإنه يقوم بزيادة انحداره ، أي بزيادة سرعته ، لكي يصبح على قدر كاف من القدرة في النقطة المعينة ولأن يكون كفؤاً لنقل حمولته . وفي هذه الحالة أيضا فإنه سيجد انحداراً توازنياً .

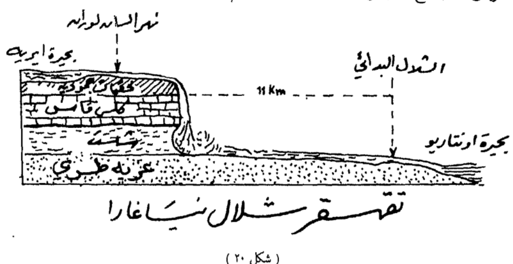
وهكذا نرى أن الميل التوازني ليس هو الذي يسمح للنهر فقط بأن يجري بل هو الميل الذي يسمح له بأن يجري وبأن ينقل .

والانحدار الذي يسمح للجريان فحسب يبدو زهيدا للغاية ، فيبلغ حوالي ٢ سم في كل ١٠٠٠ كيلو متر في حالة نهر مثل نهر الراين ، مما يكفيه أن يكون ارتفاعه عند مدينة بال السويسرية ٢ سم عوضا عن ٢٤٠ م وهو ارتفاع هذه المدينة فعلا عن سطح البحر ! وفي الطبيعة نجد أن لدى كل الأنهار حمولة يجب تفريغها بواسطة النقل .

وبالطبع تختلف كل من القدرة والحمولة في كل فترة وخاصة بين الفيضانات والتحاريق (الشح ، الصيهود) . وعندما نقول إن لنهر ما في نقطة معينة انحداراً اتزانياً ، فمعنى ذلك إنه يحقق هنالك حالته الوسطى ، وأن محصلة العوامل العديدة في الحفر والأطماء والموزعة على مجراه طيلة العام تكون تقريبا معدومة . وبالفعل تعمل الأنهار خاصة في فترة الزود أو الفيضان ، لأن العمل خلال الشح وحتى في أوقات جريان الصبيب المتوسط يكون أمرا ضئيل الأهمية بالموازنة مع العمل الذي يتم عند الفيضانات العنيفة .

رابعا ـ تغير الانحدار بفعل الحفر والأطماء remblaiement

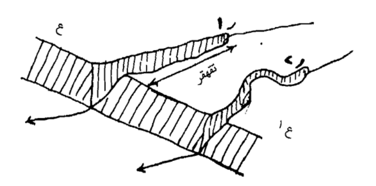
لقد سبق لنا أن رأينا أمثلة على مجارٍ مائية في حالة الحفر ، كالسيل في حوض التجمع ، وعن مجار مائية تقوم بالأطماء ، كالسيل عند مخروط



(شكل ٢٠)

الانصباب ، ولكن كل الانهار ، على إختلاف مقاييسها ، تحفر في هذا المكان ، وتردم في مكان آخر ، وتقوّم مجراها أي تحاول أن تقضي على التكسرات في المقطع الطولاني . وفي الحقيقة لا يكون النهر حراً في تغيير صبيبه الذي يتلقاه من حوضه السفحي bassin - versant ، والذي يتلقى الأمطار ، كما لا يكون حراً في تغيير حمولته آنيّاً ، ولكنه يستطيع في المقابل أن يعدل انحداره عن طريق الحفر أو عن طريق التوضيع ، أي الأطماء ، إذن يستطيع أن يغير سرعته كي يسترد الاتزان الذي تكلمنا عنه . ويجنح كل قطاع يجري عنده الحفر إلى الصعود باتجاه العالية ، وذلك لأسباب يعسر تفسيرها في هذا المجال . فيقال أن **الحت تراجعي** régressive وهو ما يدعى بالحت الصاعد . ومن السهل العثور على برهان عن ذلك ، كتراجع الشلالات الكبرى ، مثل شلال نياغارا على نهر السان لوران بين الولايات المتحدة وكندا (شكل ٢٠) .

كما أن التخديدات التي تحدث في الحقول بعد عاصفة مطرية ، والتي تبدو وكأنها أنهار مصغرة تجريبية ، تجنح نحو الامتداد باتجاه الأعلى عند حدوث الزخة التالية . وعلى مقياس أكبر نجد الشيء ذاته على الأنهار والنهيرات (شكل ٢١) .

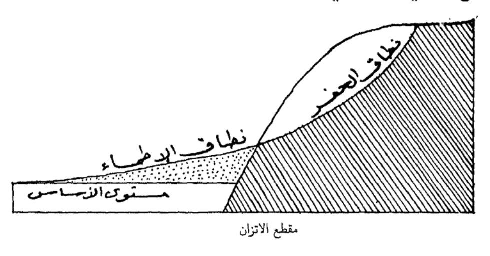


(شكل ٢١) - تقهقر انقطاع انحدار (ميل) بفعل الحت التراجعي أو الصاعد .

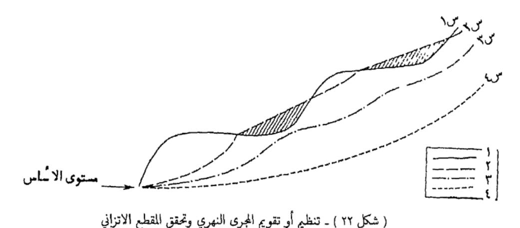
يحفر كل نهر خانقا انطلاقا من الجرف إلى المنحدر المبدئي ع عَ . وهكذا وصل انقطاع الإنحدار على المقطعين إلى النقطتين ر١ و ر٢ .

خامسا ـ مقطع الاتزان ومستوى الأساس .

يؤدي تنظيم مجرى النهر ، قطاعا فقطاعا ، عن طريق الحفر في المنحدرات الشديدة جدا وعن طريق الأطماء ، أو التركيم ، في القطاعات الضعيفة الميل جدا ، يؤدي في نهاية الأمر إلى منح كل النقاط في مجرى النهر انحدارا اتزانيا . والنهر الذي حقق في كل نقاط مجراه الميل الاتزاني يعتبر نهرا ذا **مقطع اتزاني أو توازني** (شكل ٢٢) .



مقطع الاتزان



(شكل ٢٢) ـ تنظيم أو تقويم المجرى النهري وتحقق المقطع الاتزاني

١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ المقاطع المتعاقبة ، س١ ، س٢ ، س٣ ، س٤ : المواقع المتعاقبة للينابيع . وتشير الخطوط المتوازية إلى أمكنة الأطماء الموقت .

لاحظ أن التقويم يتم في قطاع إثر قطاع ، كما أن المنبع ، شأن كل انقطاعات الانحدار (الميل) يتقهقر وإن لمقطع الاتزان شكلا مقعرا باتجاه السماء . وتبدو الارتفاعات مبالغة جدا بالنسبة للأطوال (حوالي ١٠٠٠ مرة) .

ويبدو المقطع الاتزاني ، إجمالا على شكل منحن **مقعر باتجاه السماء** ، وبعبارة أخرى يتضاءل الانحدار من العالية نحو السافلة . ويفسر هذا التناقص في الميل بتزايد الصبيب باتجاه السافلة وإن مقاييس عناصر الحمولة تتناقص بسبب البلى التدريجي الذي يعتري الأنقاض المنقولة . فصبيب مائي غزير يقنع ، لنقل حمولة معينة ، بانحدار أقل قوة مما يتطلبه صبيب هزيل ، وعند تساوي الصبيب المائي ، فإن الأنقاض الدقيقة تنتقل على ميل ضعيف جدا بصورة أسهل من نقل الأنقاض الخشنة .

هذا ولا يمكن إعطاء صيغة رياضية صحيحة للغاية عن منحنى مقطع الاتزان ، ففي الحقيقة يتعلق انحدار التوازن ، في كل نقطة من مجرى النهر ، بالشروط المحلية . فعند كل مقرن (مرفد) يحدث نوع من انكسار في منحنى الاتزان إذا جاء نهر صغير ، ضعيف الصبيب ولكنه ذو حمولة كبيرة جدا ، ليزيد في الكتلة المنقولة ، مما يضطر النهر الرئيسي إلى زيادة انحداره في سافلة المقرن بالرغم من القاعدة العامة القاضية بوجود تقعر عام في شكل منحنى الاتزان . وعلى العكس إذا جاء نهر غزير وقليل الحمولة ليرفد نهرا رئيسيا ، فإن هذا النهر الرئيسي يقيم في سافلة المقرن انحدارا يكون فجأة أقل شدة .

هذا ولا يجب الاعتقاد بأن مقطع الاتزان ، على الأنهار الكبرى ، يجنح للتلاشي تماما بجوار البحر . ففي الحقيقة هناك دائما حمولة يجب نقلها ، إذن على النهر أن يحتفظ بانحدار ما . غير أن مفعول ظاهرة المد والجزر في المصبات الخليجية éstuaires ، وبالإنكليزية estuary تشوه هذه الملاحظات . ومن ناحية أخرى سنرى أن كل الأنهار تعرضت إلى اجتياح قطاعاتها السفلى من قبل مياه البحر في أعقاب ذوبان الجموديات الرباعية الكبرى قبل حوالي ١٠٠٠٠ سنة ،

فأصبح انحدارها ضعيفا جدا في مجاريها السفلى فراحت تقوم بالأطماء ، وغالبا ما تكون تحت مستوى مقطعها الاتزاني في هذه القطاعات السفلى .

وإذا كان من الصحيح القول أن النهر يعدل مقطعه الطولاني في كل نقاط مجراه وإن ارتفاع كل هذه النقاط يتغير ، فإن هناك مع ذلك نقطة فريدة لا يستطيع النهر أن يحفر تحتها ، وتكون هذه النقطة ، في حالة نهر كبير ، هي المصب ، أي النقطة التي يبلغ عندها مستوى البحر . وفي الواقع إذا انخفض سطح النهر إلى ما دون هذه النقطة فإن تيار الماء سيضطر للصعود باتجاه السافلة ، وهو أمر غير معقول . وبالتأكيد تستطيع بعض المغارق mouilles أن تنزل إلى ما دون سوية البحر ولكن سطح الماء يظل دوما على نفس الارتفاع الإيجابي . وإذا كنا في حالة نهر صغير فإن النقطة التي لا يستطيع أن يحفر دونها هي المقرن مع النهر الذي يصب فيه .

ونطلق عبارة **مستوى الأساس** على المستوى الذي لا يستطيع النهر أن يحفر دونه . وفي حالة نهر صغير فإن مستوى أساسه يكون إذن عند مقرنه مع النهر الكبير الذي يتلقى ماءه ، فنقول عندئذ أن هذا المقرن هو مستوى أساسه القريب ، فقرية البصيرة تعتبر مستوى الأساس القريب لنهر الخابور .

كما أن النهر الذي يصب في بحيرة يؤلف سطح هذه البحيرة المستوى الخاص به مثل مستوى بحر آرال بالنسبة لنهري سيرداريا وآموداريا ، أو بحيرة العتيبة بالنسبة لنهر بردى ، أو بحيرة طبرية بالنسبة لنهر الأردن ، أي أن المناطق ذات الصرف الداخلي لا تعرف سوى مستوى أساس البحيرة التي ينتهي عندها النهر الرئيسي . أما البحر فهو **مستوى الأساس العام** لكل المناطق ذات الصرف الخارجي .

☆ ☆ ☆

الفصل الرابع

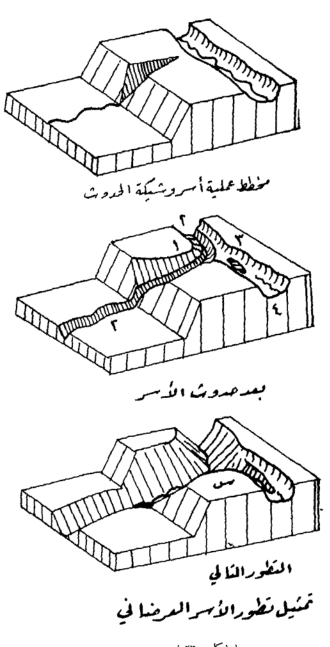
تطور الشبكات النهرية والدورة الحتية

مقدمة : في كل حوض نهري لا شيء ثابت سوى مستوى الأساس ، فالنقاط الواقعة في سائر أنحاء الحوض تنخفض بفعل الحت أو ترتفع بفعل الأطماء كما يكون مرتسم Tracé أو مخطط الأنهار غير ثابت أيضا ، لأن الأكواع تتغير في تفاصيلها ، ولكن قد تحدث أيضا تغيرات في مخطط النهر على مقياس كبير .

أولا ـ الأسر والانسكاب :

لنفترض وجود نهرين قريبين من بعضهما وهما نهر رقم ١ ونهر رقم ٢ يجريان على سويتين مختلفتين (شكل ٢٤) ، وأن نهر رقم ٢ يقع في مستوى أعلى من مستوى نهر رقم ١ . فعلى الأرض التي تفصل بين النهرين تقوم روافد نهر رقم ١ ، المتمتعة بانحدار أشد من روافد رقم ٢ ، بتقهقر رأسها بفعل الحت التراجعي . فأحد روافد نهر رقم ١ والذي سنطلق عليه اسم نهر رقم ٣ سيدفع بنبعه حتى بلوغ مجرى نهر ٢ في النقطة ج . ونظرا لشدة انحدار نهر رقم ٣ فإن نهر رقم ٢ سينهمر في مجرى نهر رقم ٣ كي يصب في نهر رقم ١ . وسيقوم بحفر مجرى نهر رقم ٣ وتقوية عملية **أسره** .

ويلقب نهر ١ بالنهر المستفيد ، و٣ النهر الظافر (أو الساحب) ، و ٢ النهر المنقطع ، لأن مجراه في عالية نقطة ج عبارة عن مجرى مأسور . ويطلق على المجرى الجديد عند ج عبارة **عكس الأسر** . ويتحول المجرى القديم لنهر ٢ ، مباشرة في سافلة نقطة ج ، إلى واد بلا نهر ، لذا يسمى **الوادي الميت** .



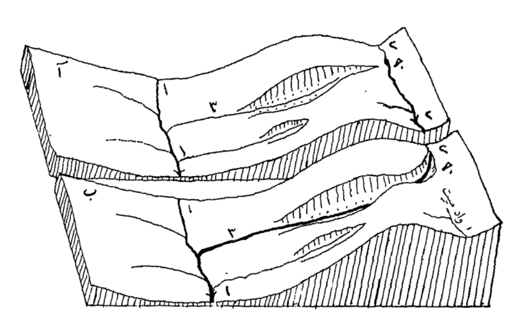
تمثيل تطور الأسر الرضالي

(شكل : ٢٣)

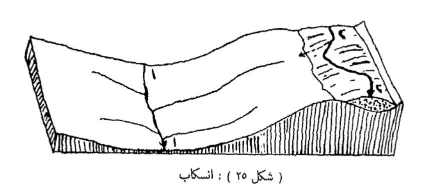
ولنفترض الآن وجود نهرين يحملان رقمي ١ و ٢ لهما نفس وضع الحالة السابقة (شكل ٢٥) . فإذا كان النهر رقم ٢ دون مقطعه الاتزاني (رغم أنه أعلى من مجرى نهر رقم ١) ، مثلاً في حالة تكون الحمولة فيها بالغة الكثرة تأتيه من العالية ، فيقوم عندئذ بتعلية سريره وقد يتمكن من ردم سريره حتى مستوى يفوق مستوى أخفض الممرات التي تفصل حوضه عن حوض نهر رقم ١ .

ويؤدي تـأرجح النهر رقم ٢ على سريره الاطمائي ، كتـأرجـح سيـل فـوق مخروطه الانصبابي ، إلى أن ينحرف نحو حوض نهر رقم ١ ، أو كما يقال ، إلى أن **ينسكب فيه** ، دون أن نهمل دور أنهـار حوض النهر رقم ١ . ومـا أن يتحقق الانسكاب déversement حتى يتزايد فرق الارتفاع ، فالنهر المولود الجديـد يحفر ويدعم مخططه الجديد .

وأشهر حـالـة عن انحراف بـواسطـة الأسر أو الانسكاب ، هي حـالـة نهر

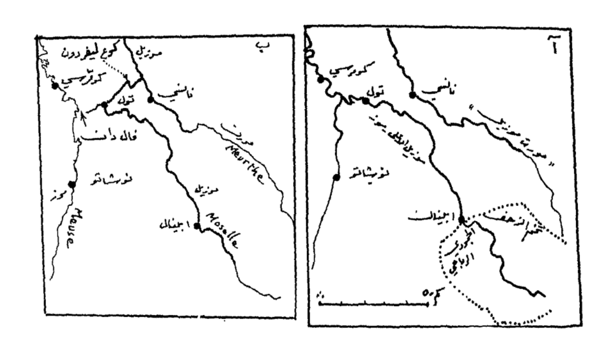


(شكل ٢٤) : الأسر الحقيقي (تراجع الرأس النهري) .



(شكل ٢٥) : انسكاب

يمثل الشكل الوضع قبيل الانسكاب . ويشير الخط المقطّع لمجرى الانسكاب في المستقبل . وتمثل النقاط الأطماء .

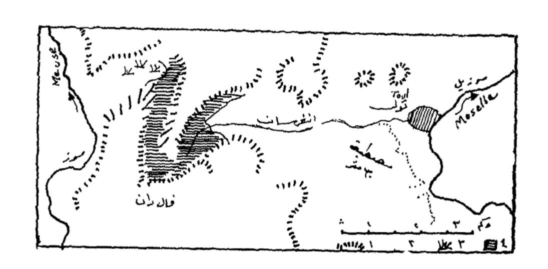


(شكل ٢٦) ـ انحراف نهر الموزيل الأعلى بالأسر

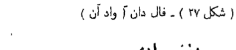
آ ـ الوضع قبل عملية الانحراف (الأسر) . ب ـ الوضع الحالي .

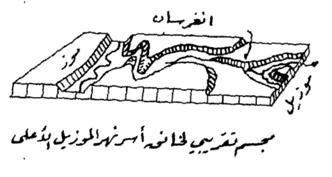
الموزيل الأعلى الذي أسر عند مدينة تول بواسطة أحد روافد نهر مورتموزيل في سافلة مدينة فروار . فقد كان نهر الموزيل الأعلى يصب في نهر الموز الذي حُرِمَ بفعل الأسر من أحد روافده (شكل ٢٦) .

ونجد وادياً ميتا مهجورا بين مدينة تول ووادي نهر الموز ، يدعى واد آن Val de I , Asne الذي يجري فيه نهر هزيل يدعى أنغرسّان Ingressin ، يجري في اتجاه معاكس غير أن هذا النهير الضامر هو أعجز من أن يكون قد حفر هذا الوادي الفضفاض الحاوي على أكواع من مقياس اكواع نهر الموز (شكل ٢٧ وشكل ٢٨) . ويمكن للإنسان أن يرى عدم تناظر السرير بشكل مضبوط على الخارطة ، حتى ليمكنه ، وذلك استنادا إلى قانون هجرة الأكواع نحو السافلة ، أن يقرّر بالاستعانة بالطبوغرافية ذاتها ، إن المجرى النهري الذي كيّف وادي آن كان يجري في اتجاه نهر الموزيل ـ الموز Moselle - Meuse ، في شمال شرق



(شكل ٢٧) ـ فال دان آ واد آن)





(شكل ٢٨)

فرنسا . وتتألف أعلى نقطة في قاع وادي ان من آكداس أنقاض قادمة من السفوح أعقبت انقطاع الجريان المائي : فهي تمثل ما يسميه أهل المنطقة « الغروين » . ولكن إذا تركنا « الغروين » المذكور جانبا ، فإن غشاء من اللحقيات يحتل قاع الوادي ويتصل من ناحية مع مصطبة مدينة تول البالغ ارتفاعها النسبي ٣٠ م ، ومن ناحية أخرى مع الغشاء اللحقي الذي يحتل تقريبا كل وادي الموز . ويحتوي هذا الغشاء اللحقي على أنقاض قادمة من جبال الفوج ، والتي نعثر عليها في وادي الموز في سافلة نهاية وادي آن والتي تكون ، أي اللحقيات المذكورة ، في عالية الوادي ذاته . وهنا تأتي الحجج الجيولوجية لتضاف داعمة الحجج الطبوغرافية .

وهناك مجال للمناقشة لمعرفة ما إذا كنا في معرض أسر صرْف أو فيما إذا كان نهر الموزيل القديم قد انحرف وانكفأ باتجاه مدينة تول بالانسكاب . وعلى كل تعود هذه الحوادث للدور الجيولوجي الرابع .

أما أسر نهر اللوار الأعلى على يد نهر اللوار الأسفل فيعود لزمن أقدم ، وغالباً في منتصف الدور الثالث . وابتداء من مطلع هذا الدور حتى منتصفه ، كان نهر اللوار القادم من الكتلة المركزية (الماسّيف سنترال) يصب تارة في أحواض داخلية وتارة أخرى كان يصب في نهر السين فيرفده في المنطقة الباريسية . ونظراً لأن نهر اللوار الأعلى كان عبارة عن نهر مشحون بالحمولة ، نظراً لأن الكتلة المركزية كانت في حالة نهوض وكانت بالتالي تقدم للحت كتلة عظيمة من الرمال ، فكان يشيد في منطقة سولوني Sologne وفي منطقة اورليئان Orléans مخروط انصباب فسيح ، كان يتأرجح فوقه . وقد حدثت حركة تكتونية سالبة في منطقة تور Tours أدت إلى اجتياح البحر ، ويشهد على ذلك التوضعات القوقعية المسماة فالون Faluns وهكذا تعرض نهر اللوار الأعلى خلال إحدى ترنحاته الجانبية إلى الانسكاب في بحر الفالون المذكور ، وبالتالي في المحيط الأطلنطي[٩] .

ثانياً - تسلسل المراتب في الشبكة المائية hiérarchisation

تعمل ظاهرة الأسر أو الانسكاب على تسلسل الشبكة . وفي الواقع ، لنفترض وجود انحدار منسجم فالشبكة الأصلية تتبع الانحدار على شكل شبكة متوازية العناصر ، كما نرى ذلك فوق حدور talus غضاري بعد عاصفة

(٩) وتنطبق هذه الملاحظة أيضاً على نهر النيجر الأدنى الذي أسر النيجر الأعلى الذي كان يصب في بحيرة ماسينا على شكل دلتا قبيل تمبكتو . كما لاحظ اتيان دوفوما أن نهر العاصي الأدنى أسرَه بعد تشكل حوض الغاب في نهاية الدور الثالث ، نهر العاصي الأعلى الذي كان يصب في بحيرة تمتد من حمص حتى الرستن والتي يشهد عليها توضعات الطف البحيري الذي يحوي أحياناً على حصويات بازلتية عند جسر الرستن حالياً .

مطرية . ووضع وارتصاف الشبكة النهرية في منطقة آرمانياك التي سبق أن أشرنا إليها يعطي مثالاً تقريبياً عن ذلك (شكل ١٣) .

بيد أن الأوضاع لا تكون منسجمة بدقة على كل الأنهار المتساوية التباعد عن بعضها البعض : فقد يتميز أحد الأنهار عن الأخرى بتغذية مائية أكثر غزارة نوعاً ما ، أو بمنطقة ذات مقاومة ليتولوجية (بتروغرافية) أضعف . وابتداء من ذلك الحين يجنح النهر المتميز لأن يصبح غازياً ، لأنه يحفر أكثر من جيرانه ويهددها بالأسر . وكل أسر يزيد في صبيبه ويزيد في تميزه ، وهكذا تستفحل مزايا النهر كتوسع نقطة زيت سقطت فوق قماش ، وتتسع شبكة النهر المنتصر شيئاً فشيئاً على حساب جيرانه .

وعلى كل حال لا تتسع شبكة النهر الغازي إلى ما لا نهاية . إذ ستصطدم بحواجز من صخور قاسية ، وبحركات اوروجينية[١٠] تجنح لأن تخلق فوق الجملونات faîtes أو فوق خطوط الذرا ، مثل جبل الشفا الفاصل بين تهامة ونجد واليمن في شبه جزيرة العرب . خطوط تقسيم جديدة للمياه .

ثالثاً ـ ترسيمة schéma الدورة الحتية

في الوقت الذي تزداد فيه الشبكة عرضاً وتتشكل الحوضات النهرية الكبرى تكون القارات معرضة للبلى والائتكال . فهي تفقد في الحقيقة من صخورها باستمرار . وحتى إذا كان الإطماء يزيد من ارتفاع منطقة صغيرة موقتاً كمثال مخروط الانصباب في واد جبلي ، فإن لمحصّلة الأعمال النهرية اتجاهاً وحيداً وهو أن الأنقاض الصخرية تذهب في النهاية من العالية باتجاه

---

(١٠) مأخوذة من كلمتي Oros وتعني جبل باليوناني و Gène وتعني ولادة ، أي الحركات المولدة للجبال كالانكسارات والالتواءات وحركات نهوض الأرض .

السافلة كي تتوضع في قاع البحار ، وبذلك تتناقص ارتفاعات مجموع القارة ، وتجنح التضاريس نحو التسوية .

وقد جاء حين من الدهر أطلق فيه على عمل التسوية هذا **الدورة الحتية** . ونتذكر أن هذا المفهوم هو من ابتداع الجيومورلوجي الأمريكي دايفيس الذي كان يعتبر أن الحركات التكتونية (البنائية) التي تبعث التضريس وترفعه هي سريعة وقصيرة الأمد بالنسبة لعمل الحت البطيء وبذلك تضع نهاية فجائية لعمل التسوية القارية ، بحيث تؤدي لاستئناف الحت النهري من جديد . وفي الواقع يجب أن تشتمل الدورة على فترة حركات تكتونية بالإضافة إلى تسوية تدريجية . ولكن عملياً جرت العادة أن تطلق الدورة الحتية على عمل التسوية أو التسطيح aplanissement لوحده[11] . ونتذكر أيضاً أن مفهوم الدورة الحتية هو مفهوم قابل للمناقشة لأن الحركات التكتونية قد تحدث خلال عمل التسوية ويمكنها أن تستمر لمدة طويلة جداً . غير أنه مفهوم مريح بشرط أن نعرف أن له حدود وأنه يجب أحياناً تعقيد ما أوضحناه بالبدء وذلك بعزل بعض المعطيات . وهكذا سنفترض إذن ، وفي منطقة ما ، إن حركة سريعة قامت للتوّ بإنهاض التضريس بالنسبة لمستوى الأساس .

وبعد حركة تكتونية كهذه ، أي في أعقاب نهوض ، ستتعمق الأنهار عند المصب لأن الانحدار قد ازداد بصورة فجائية (شكل ٢٩ أ) وستصعد الموجة الحتية حسب أسلوب تراجعي وذلك على النهر الرئيسي وعلى الروافد ، وسيكون السرير عندها مجالاً لحت شديد وستتجاوب السفوح فوراً مع تعمق السرير ، إذ ستحدث فيها انزلاقات ، وستتساقط انقاض الجروف الصخرية مما يجعل الصخر عارياً في بعض الأمكنة . وهكذا يتم العمل بسرعة نوعاً ما لأن قدرة

(١١) أو Levelling بالانكليزية .

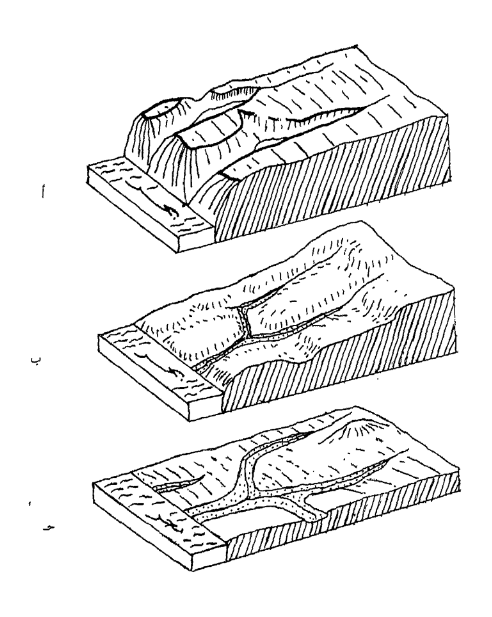
النهر الصافية تكون مرتفعة كما يكون الحفر عند أقدام السفوح شديداً . تلك هي **مرحلة الشباب** .

وهكذا ، وشيئاً فشيئاً ، يتقوّم مقطع النهر الطولاني ، ولن يحفر النهر إلا ببطء ، وسيتطور مقطع السفوح ولكن ليس بطريق الانزلاق بل بالزحف البطيء ، ويكون نسق الحت الخطّي ونسق الحت الجانبي (السطحي) aréolaire متماثلين ، وتتناقص الانحدارات الاجمالية . ومع هذا لا يزال التضريس بعيداً جداً عن التسطيح الكامل ، فالتضريس يتألف من عراقيب من مستويات مختلفة (شكل ٢٩ ب) ، وغدت الأودية الرئيسية العريضة حاوية على غطاء شبه مستمر من اللحقيات . وربما تكون قد حدثت عدة عمليات أسر كما أصبحت الشبكة المائية متسلسلة وربما وصلت للتسلسل في بداية الدورة . تلك هي **مرحلة النضج** .

أما المرحلة الأخيرة فتتميز بضعف بطيء يعتري الانحدارات سواء على المقاطع الطولانية للأنهار أو على الفواصل النهرية خاصة . وهكذا يقترب مستوى قمة العراقيب إذن من حيث الارتفاع من مستوى خطوط القاع دون أن يبلغه مطلقاً لأن انحدار السفح يجب أن يظل كافياً لتفريغ الأنقاض . وتتحول المنطقة إلى زمرة من العراقيب الوطيئة والمغطاة برداء مستمر من أنقاض فساد الصخور وتفسخها كما تنصرف مياهها بواسطة أودية ذات قاع لحقي . تلك هي **مرحلة الهرم** (شكل ٢٩ جـ) .

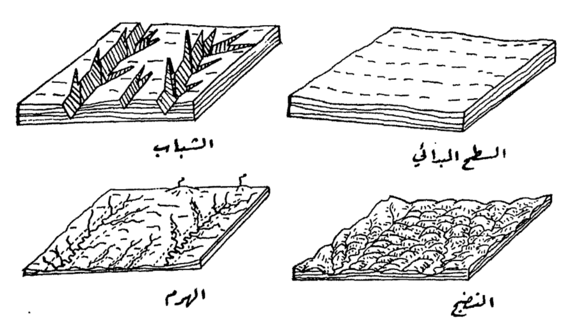
رابعاً ـ شبه السهل Pénéplaine

يتحول التضريس ، بعد زمن طويل جداً ، يتجاوز بضعة ملايين السنين ، على أغلب الاحتمالات ، وهذا بالنسبة للصخور المتوسطة المقاومة ، يتحول إلى سطح خال من تفاوتات الارتفاع الكبيرة ، ولكن بشرط ألآ



(شكل ٢٩) ـ المراحل الثلاث في دروة حتية . آ ـ شباب ، ب ـ نضُج ، جـ ـ هرم .

وتشير النقاط إلى اللحقيات . والتل في شكل جـ إلى مونادنوك . ونلاحظ أن باستطـاعـة نهوض إجمـالي العودة من جـ إلى مرحلة مماثلة لمرحلة آ وقد أهملنا عن عمد كل تطور ساحلي أو تحتمائي .



(شكل ٣٠) ـ المراحل الثلاث في الدورة الحتية

يحدث أي طارىء يعرقل تطور الدورة الحتية ، كحركة نهوض ناجمة عن انكسار أو عن هبوط مستوى البحر ، فنقول عندها أن التضريس وصل إلى مرحلة شبه السهل كهضبة نجد الوسطى جنوبي جبل شمّر وغربي جبل طويق .

فشبه السهل عبارة عن مجموعة من خطوط قاع ومن فواصل نهرية . ويجب أن تحتوي هذه الأشكال ، وذلك على الأقل تحت مناخ معتدل ، على انحدارات لا تزال محسوسة ، أي على انحدارات حدّية تظل معها عوامل تكييف السفوح ناشطة مثل الزحف creep والسيلان المنبث diffus . غير أن خطوط القاع يمكنها أن تتصف بطبوغرافية مستوية قدر المستطاع لأنها مشغولة بغطاء من اللحقيات ، لكن انحداراتها الطولانية لا تكون معدومة إذ لا تزال هناك بالفعل بعض الحمولة التي يجب تفريغها .

هذا ولا يستطيع الحت أن يؤدي إلى تسوية كاملة ، وذلك على الأقل

تحت مناخ معتدل ، ولا يمكن تصور تحقيق سهل حتّي صحيح إلا تحت منـاخ مـداري ، والأشكال الطبوغرافيـة الحتّيـة المسوّاة بصورة كاملـة التي يمكن العثور عليها سليمة تحت مناخ معتدل هي بقايا من عصر كان يسود فيه هنـاك منـاخ مداري .

وقد تحتوي أشباه السهول أحياناً على تضاريس محسوسة متبقّيـة . ويطلق على مثـل هـذه التضـاريس اسم **مـونـادنـوك** Monadnocks نسبـة إلى اسم إحداها ، وهي قمة صغيرة في ولاية انكلترا الجديدة ، في الولايات المتحدة (شكل ٢٩ جـ وشكل ٣٠) . وهي عبارة عن تلال وطيئة تتصل تدريجياً عنـد قـاعـدتهـا مع السطح العام لشبـه السهل ونجـد العـديـد منهـا على الطريق الواصل بين مكـة والرياض حيث لا يزيـد ارتفـاعهـا عن بضعـة أمتـار . وتنتج إمـا عن قسـاوة فريدة في الصخر الذي تتشكل منـه ، فنقول أنهـا مونـادنوك المقـاومـة ، أو عن بعـدهـا بـالنسبـة للوديـان الرئيسيـة ، وعن موقعهـا فوق خطـوط تقسيم الميـاه فتسمى مونـادنوك الموضع . وسنرى أن السهـل الحتي المـداري يحتـوي أيضـاً على تضـاريس ذات سفوح شـديـدة لا تتواصل مع سطح شبـه السهل ، بل تنهض فجـأة فـوقــه ، وتسمى **اينسلبرغ** inselbergs[١٢] . ويغلب على الظن أن الكثير من أشكال المونـادنوك الحـاليـة هي عبـارة عن أشكال اينسلبرغ قـديـمة ، وهي بقايا من عصر تكيفت فيه تضاريس البلاد المعتدلة اليوم تحت مناخ مـداري ، ولكنها عبارة عن اينسلبرغ تلطفت سفوحهـا ، منـذ ذلـك الحين ، تحت منـاخ أقل حرارة .

هذا ولا توجد أشباه سهول ذات علاقة مباشرة بمستوى الأسـاس الحـالي ، لأن مستوى الأساس الحـالي قـد تثبت في عصر حـديث جـداً في حين أن نشوء

---

(١٢) انظر الفصل السابع في الجزء الثاني ، وكلمة اينسلبرغ المانية تعني جزيرة جبلية .

شبه سهل يستدعي زمناً طويلاً جداً . فأشباه السهول التى تلاحظ اليوم في الكتل الجبلية القديمة من اوربا الوسطى يعود عمرها للدور الأول أو للدور الثاني أو لمطلع الدور الثالث . وقد أُنهضت أشباه السهول المذكورة بحركات تكتونية تعود لآخر الدور الثالث ، حركات جعلتها تتعرض للحت من جديد أي للتصابي ، وتعرضت كذلك لتحزيز جديد بواسطة أودية متعمقة تعمل على تهديم تضريس شبه السهل . وهكذا يمكن تفسير السطوح الحتية في الكتلة المركزية الفرنسية ، وفي الكتلة الشيستية الرينانية في المانيا الغربية والتي تشرف من ارتفاعات تبلغ ١٠٠ أو ٢٠٠ وحتى ٥٠٠ م على الخوانق التي تحززها .

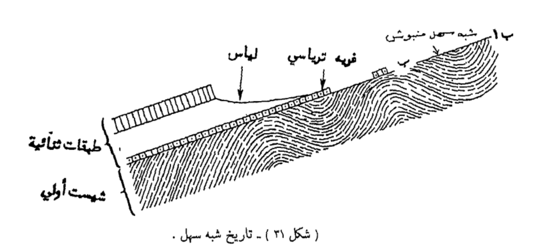
كما يمكن اعتبار المنطقة الغربية من بلاد نجد شبه سهل سوّاه الحت في مطلع الدور الأول ، وفي أواخره تغطى شبه السهل المذكور بحصباء وبرمال تصلبت تدعى صخور الخرسان النوبي في مصر أو تكوينات الساق وتبوك والوجيد في شبه جزيرة العرب ، وهي التي نجدها في البتراء في الاردن وقرب مدينة خميس شيط في بلاد عسير وفي منطقة معابد أبي سمبل في صعيد مصر .

هذا ولا يجوز النظر إلى ارتفاعات أشباه السهول الاوربية التي تبلغ بضع مئات من الأمتار على أنها بقية من ارتفاعات كانت تبلغ بضع آلاف الأمتار في السلسلة الهرسينية ، بل أن تطورها جعلها تمر بمرحلة تسوية شبه كلية كانت الارتفاعات خلالها لا تتجاوز بضع أمتار أو بضع عشرات الأمتار ، ثم مرت بمرحلة تعلية كتليّة منحتها ارتفاعها الحالي ، أي بمرحلة التصابي أو تجدد الشباب .

وبما أن هناك أجزاء من أشباه السهول هي عبارة عن سطوح حتية قديمة ، فكيف يمكن تأريخ تشكلها ؟ وهنا يجب على الباحث الجيومورفولوجي أن يلعب دور الشرطي السرّي وأن يبحث عن الدلائل

المقنعـة ! فشبـه سهل يبتز tranche طبقـات التوت بواسطـة حركات هرسينيـة حـدثت في آخر الـدور الأول والـذي تغطّى بطبقـات غريـه grés (خرسـان) توضعت في مطلع الدور الثاني ، هو بالطبع عبارة عن شبه سهل تـال لحركات آخر الدور الأول وسابق لتوضعات الغرية التي جعلته مستحاثاً في مطلع الـدور الثاني (شكل ٣١) .

إذن يعود عمر شبه السهل هذا إلى الفترة الواقعة بين الـدور الأول والـدور الثاني . إذن هو شبه سهل بعد هرسيني وقبل ترياسي ، لأن طبقـات التريـاس تمثل طليعة رسوبات الـدور الثـاني . وهنـاك وسـائل أخرى لتـأريخ عمر شبـه سهل ما ، ولكنها أبحاث عسيرة لا نستطيع التعرض إليها في هذا المجـال الـذي يتطلب الإيجاز .



(شكل ٣١) ـ تاريخ شبه سهل .

إن سطح ب ب ١ هو عبارة عن شبـه سهل تـال للالتواء الهرسيني الـذي لوى طبقـات الـدور الأول الأقـدم منـه عمراً . وهو سطح سابق لبداية الدور الثاني ، لأن صخور الترياس غطته . لاحظ أن شبه السهل المذكور قـد استحـاث fossilisée أو أصبح أحفورياً برسوبات ثنائية ثم أصبح جانحاً مع غطائه ، أي مائلاً من طرف واحد ، ولاحظ أيضـاً أن الحت الذي كشف عنه غطاءه ابتداء من الأعالي في اليمين قد نبشه جزئياً . إذن إنه شبه سهل مستحـاث في طريقـه إلى النبش . وهذه الحالة المثلة تماثل تقريباً وضع منطقة المورفـان الشماليـة في فرنسـا بجوار بلـدة آفـالـلون ، والقسم الواقع غربي جبال الخف مباشرة في هضبة نجد كمنطقة الرس غرب عنيزة وبريدة .

الفصل الخامس

تعاقب الدورات الحتية

مقدمة : تحتوي غالبية الأشكال الطبغرافية على تضريس عديد الدورات ، ولقد تكيفت بواسطة زمرة متعاقبة من الدورات الحتية .

أولاً ـ بعض الأمثلة عن تطور عام .

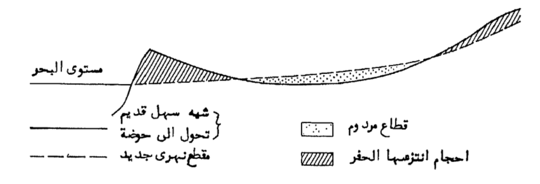
لنأخذ مثالاً : لنفترض أن منطقة تسوّت حتى أصبحت عبارة عن شبه سهل . فالأنهار تجري فيها ببطء وهدوء ، وتكاد لا تحفر أو تتعمق ، كما لا تكاد توضّع ما يستحق الذكر . ولنفترض أن حركات تكتونية أنهضت مجموع المنطقة . فعند النقطة التي يلتقي فيها شبه السهل مع البحر فإن النهر ، الذي كان مصبه متصلاً بمستوى الأساس ، سيجد نفسه معلقاً وسيصب في البحر على شكل شلال أو على الأقل على شكل جنادل rapides . ونظراً لقوة الحت الناجم عن سرعة الماء المنهمر فسرعان ما يتشكل خانق يأخذ في التمدد باتجاه العالية بفعل الحت التراجعي .

وفي الحقيقة ، فإن حركة تعلية شبه السهل لن تكون بمثل هذه الفجائية التي يفترضها المثال الذي ذكرنا ، بل سيتم حفر الخانق بصورة منسجمة مع النهوض دون أن يتشكل شلال فعلاً . ولكن هذا الاختلاف لا يقلّل من قيمة هذا العرض .

هذا ويكون جريان النهر سريعاً في الخانق الذي يعمل النهر على حفره ، كما يحوي هذا النهر على كل صفات الشباب . ولكن إذا أعقب حركات التعلية الفجائية هدوء تكتوني متطاول الأمد ، فسيكون لدى النهر الوقت اللازم للاقتراب من مقطعه الاتزاني ، وعندها يصبح انحدار سفوح الوادي الرئيسي لطيفاً ، كما تحفر الأنهار الرافدة بواسطة الحت التراجعي وتتطور لتحقيق مقاطعها الاتزانية ، كما تصبح سفوحها مدورة الزوايا ويحدث نفس الشيء على الروافد الثانوية sous-affluents وفي كل المنطقة . وهكذا يحل شبه سهل جديد أخيراً مكان شبه السهل القديم (شكل ٢٩) .

ولكن ما دام عمل الموجة الحتية الجديدة لم يبلغ بعد درجة متقدمة في التطور ، فستظل في المنطقة رقع عريضة من شبه السهل القديم (شكل ٢٩ ـ آ) . ويكون الشكل الحديث ، الذي انطلق تكوينه ابتداء من السافلة ، يكون بمجموعه مترصّعاً emboîtée في ما تبقى من شبه السهل القديم . وهكذا تحوي المنطقة على تضريس ثنائي الدورة bicyclique . ونميز على المقطع الطولاني للنهر ، وربما على روافده ، نميز انقطاعاً في الانحدار (الميل) أو انكساراً في المقطع الطولاني للنهر يشهد على المكان الذي وصلت إليه موجة الحت التراجعي الجديدة في أثناء صعودها .

مثالاً عن تطور آخر ـ لنفترض أن شبه سهل تعرض للتشوه على شكل حوضة بعد أن كان مثالياً أقرب للاستواء والتسطيح (شكل ٣٢) . ففي الجزء الواقع في العالية ، يزداد انحدار النهر الرئيسي ، ويأخذ في الحفر كما في حالة المثال الأول ويجنح إلى تشكيل خانق ثم تضريس ناضج يتطور إلى شبه سهل . ولكن النهر أثناء حفره سيصبح مشحوناً بالأنقاض التي اقتلعها . غير أن انحداره يتضاءل في جزئه الأوسط لدرجة يجنح معها ميل عكسي للظهور



(شكل ٣٢) رد فعل المقطع النهري في حالة تشوّه على شكل حوضة
(الارتفاعات مبالغة بشدة)

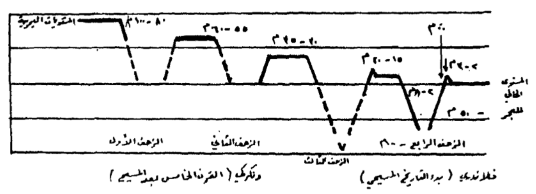
في جزئه السفلي . وإذا كان ارتفاع حواف الحوضة مزامناً لتشكلها فإن بحيرة ستتشكل . والحقيقة لن يكون لدى البحيرة الوقت الكافي لتشكلها لأن النهر ، الذي تضاءلت قوته بفعل تغير الانحدار ، سيأخذ في الاطماء ، وبتوضيع الأنقاض التي انتزعها من العالية ، وسيجنح نحو استرداد مقطعه الاتزاني بتعلية انحداره المتقعّر بفضل الاطماء . وهكذا سنرى أن شبه السهل قد تخرب في عاليته بفعل الحت مثلما استحاث (أو أصبح حفرياً fossilisée) في السافلة تحت الردم الجديد .

مثال ثالث : لنتصور وجود شبه سهلٍ . فالأنهار تجري فيه ضمن مقاطع اتزانها . فإذا أصبح المناخ فجأة أكثر رطوبة والغطاء النباتي كثيفاً ، بحيث يحمي الأرض ، مما لا يسمح إلا للقيل من الأنقاض بالانقلاع من السفوح ، فإن صبيب النهر سيزداد ، وبالتالي ستزداد قدرته أيضاً . غير أن حمولته لا تزداد بنفس النسبة ، لأن السفوح لا تقدم سوى القليل من الأنقاض ، أي سيكون لدى النهر قدرة صافية كبيرة أكثر فأكثر مما يسمح له بالحفر . وهكذا يستطيع تبدل بسيط في المناخ أن يغيّر في العلاقة « حمولة ـ صبيب » ، دون أن تكون هناك حركة تكتونية ، مما سيؤدي إلى حفر . ويمكننا أن نتصور

مناخاً يأخذ في التجفف ، وإن السفوح التي لم تعد تتمتع بحماية النباتات راحت تقدم أنقاضاً متكاثرة لنهر يتجه صبيبه نحو الهزال ، وهنـا نلاحـظ على عكس الحالة السابقة ، أي اتجاهاً نحو الاطماء .

مثال رابع : لنفترض الآن أن تسخناً في المنـاخ سيطرأ ابتـداء من الغـد في أعقاب تلوث الجو وزيادة غاز الفحم فيـه أو بسبب تلوث سطح المحيطـات بمخلفات النفط مما سيقلّل من التبخر وبالتالي قلة نسبة التغيّم ، تسخّن يـذيب كل الجموديات في المنـاطق القطبيـة ولا سيا القبعـة الكبرى في القـارة القطبيـة الجنـوبيـة . وعلى أثر ذلـك سيرتفـع مستـوى البحـار بحـوالي بضـع عشرات من الأمتار . وسيصبح انحدار الأنهار ، نتيجة لتعلية مستوى الأساس ، متناقصـاً في القطـاعـات السفلى وستتجـه الأنهـار نحـو الاطماء . ولن تتعرض مـدينـة لنـدن وطوكيو وبـاريس والقـاهرة وبغـداد إلى الغرق فحسب بل ستختي هـذه المـدن جميعاً تحت اللحقيات المتوضعة .

وتطلق تسمية حركة **مستوى البحار** eustatique على مثل هذا التفاوت في المستوى العام الذي يصيب مستوى المحيطات والبحار ، دون أن يكون لهـذا علاقة مع الظاهرة اليومية أو نصف اليومية في المد والجزر . وقد بيّن لنا المثـال السابق حركة **جموديـة بحريـة** . وقـد حـدثت حركـة مماثلـة اعترت مستوى



(شكل ٣٣) تبدل مستوى البحر خلال الدور الرابع

الأساس بين ١٠٠٠٠ سنة و ٥٠٠٠ سنة قبل الميلاد عندما راح المناخ يتسخّن بعد آخر زحف جمودي ، والمعروفة تحت اسم **الطغيان الفلاندري** ، أي تقدم البحر الذي كان واضحاً جداً في منطقة الفلاندر وإن كان شاملاً لكل سواحل البحار .

وتبين لنا الأمثلة الأربعة الآنفة الذكر أن الأسباب التي يمكنها أن تعكر صفو مسيرة الدورة الحتية قد تكون عديدة .

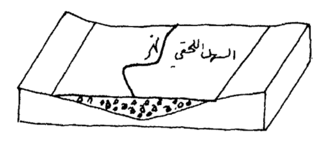
ثانياً - المصاطب اللحقية

تعتبر فترات الحفر والاطماء ، في الحالة الخاصة لواد ما ، مسؤولة عن تشكل المصاطب اللحقية . ولنفترض الآن أننا نقف أمام واد لحقي : فإذا حدث انخفاض في مستوى الأساس ، ناجم إما عن نهوض المنطقة أو عن انخفاض ناجم عن حركة مستوى البحر ، فإن هذا سيؤدي إلى تعمق النهر في اللحقيات وحتى قد يتجاوز ذلك إلى الأساس الصخري ، وبذلك يصبح القاع اللحقي مشرفاً من علٍ فوق خط القاع الجديد : فتتشكل **مصطبة** terrasse ، ويمكننا مشاهدة التطور نفسه إذا جنح المناخ نحو الرطوبة مما يمنح النهر قدرة صافية أكبر من السابقة .

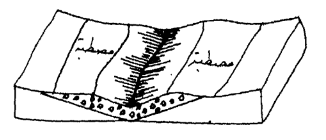
ويمكن متابعة مراحل تشكل المصاطب النهرية حسب التطور في النماذج الثلاثة من الشكل التالي (٣٤) .

وتحوي المصطبة اللحقية على قمة منبسطة ، وهي شاهدة على سرير الفيضان ، وعلى حافة شبه قائمة وعرة (شكل ٣٥) .

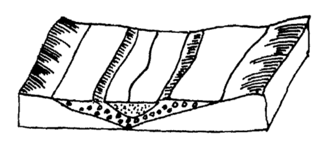
هذا وتكون سماكة اللحقيات في مصطبة ما متفاوتة في مقدارها . ففي بعض الحالات يتوضع غشاء لحقي رقيق في داخل غشاء لحقي سميك . وهذه



آ ـ النهر يتجول فوق سهله اللحقي

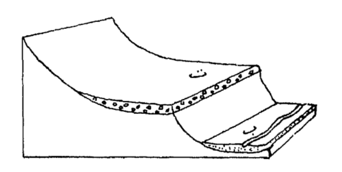


ب ـ النهر يتعمق في سهله اللحقي نتيجة هبوط مستوى الأساس

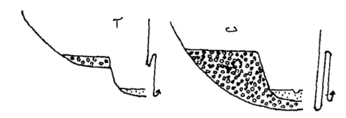


جـ ـ النهر يصنع سهلاً لحقياً ثانياً مرصّعاً ضمن المصطبة

(شكل ٣٤)



(شكل ٣٥) ـ مصطبة لحقية (ت) وسهل لحقي حالي أو زور (ب)
والسهل اللحقي هو سرير الفيضان (السرير الأعظم) الحالي .



(شكل ٣٦) ـ نموذجان عن وضع الأغشية اللحقية التي تشكل المصاطب
آ ـ تطبق بسيط ، ب ـ ترصيع . ويشير الخطان البيانيان إلى اتجاه تبدلات مستوى النهر .

الترصيعات emboitement أو التعشيقات هي التي تسمح بالتعرف على تاريخ عمليات الحفر وعمليات الاطماء المتعاقبة على نهر ما (شكل ٣٦) . وهكذا تقع أحياء أبي رمانة والمالكي والبرامكة فوق ضفتي مصطبة نهر بردى أو فوق ت في شكل ٣٥ بينما يقع حي المرجة وسوق الخجا والقلعة والمتحف والتكية السليمانية فوق الزور أو فوق ب في الشكل المذكور .

ولتوضيح هذا التأريخ يجب على الجيومورفولوجي أن يكون بحاثاً هنا أيضاً ، إذ ليس عليه أن يكتفي بملاحظة تنضيدات اللحقيات وترصعاتها فحسب بل عليه أيضاً أن يدرس كل غشاء لحقي بذاته . فالغشاء اللحقي يتألف من حصباء متفاوتة في أحجامها ، وفي استدارتها ، مثلما يتم تعريفها بتركيبها الليتولوجي الذي يستطيع أن يخبرنا عن مناخ العصر الذي توضعت

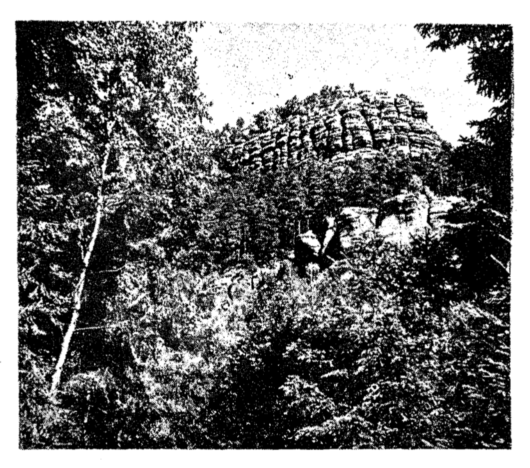
فيه مثلما يدلنا تركيبها الجيولوجي عن مصدرها ، وعليه فإن الصخور الكلسية الأكثر حساسية بالانجاد تكون كثيرة بشكل خاص على شكل حصباء في اللحقيات السائدة للفترات الباردة لأنها اقتلعت حينذاك من جدران صخرية متجمندة gélives

هذه الطرائق في الدراسة تسمح بتجنب الخطأ الذي ارتكب في ١٩٢٠ .

وفي الواقع قال كل من العالمين اللواء لاموت وش . ديبريه أن من الممكن تأريخ لحقيات مصطبة ما استناداً إلى ارتفاعها النسبي فوق خط القاع . وهذا يفترض أن الأغشية اللحقية المتعاقبة كان لها الانحدار نفسه ، وأن المناخ مهما تغير ، فإن العلاقة بين « الحمولة ـ الصبيب » في النهر ظلت ثابتة . وهذا الزعم ليس بصحيح . ففي الدور الرابع كان لكل سهل فيضاني جديد انحدار متعلق بالمناخ ، ونظراً لتعاقب الفترات الجمودية والفترات الدفئية فإن هناك احتمالات قوية كي يقوم النهر ذاته بالحفر والاطماء بصورة متعاقبة مع مقاطع طولانية متقاطعة أو متباعدة منفرجة divergeants فليس إذن لارتفاع المصاطب النسبي أكثر من دلالة تمهيدية . فلا يكفي أبداً لتعريفنا بتأريخ عمليات الاطماء وعمليات الحفر .

وسنعرف أن عمليات الحفر التي يقوم بها النهر في سريره تكون أكثر سرعة من تطورات السفوح . وينتج عن ذلك أن فترة تقدر ببضعة آلاف السنين تعتبر كافية لتشكيل مصاطب بواسطة ظاهرتي الاطماء والحفر . ولكن لكي يحل شبه سهل ، في مكان شبه سهل آخر ، وذلك على كل مساحته ، فيلزم لذلك مدة أطول بكثير ، أو حوالي ٢٠ مليون سنة على الأقل . إذن لا داعي للدهشة من أن أشباه السهول التي يدرسها العالم الجيومورفولوجي تؤرخ عادة بالزمن الأول ، والثاني أو الثالث وإن المصاطب تؤلف جزءاً من تطور الزمن الرابع .

والأهمية التي منحناها قبل قليل للمناخ تدل على أن نظريات ديفيس ليست أكثر من ترسيمة Schema أو مخطط أولي ، مقبولة ولكنها نظرية ، تحتاج لأن تستند على الواقع . كما يجب علينا أن نأخذ بعين الاعتبار في الدراسات الجيومورفولوجية أن الحركات الأرضية ليست سريعة كما افترضها ديفيس ، ولا سيما وأنه يجب تكميل المفهوم المجرد للدورة الحتية وشبه السهل بدراسة سلوك التضاريس حسب البنية وحسب نماذج المناخ والنبات . هذه الإضافات ستكون هدف الجزء الثاني والجزء الثالث من هذا الكتاب .



صورة رقم ٤ ـ التضريس البنيوي : جرف « غريه » أي من حجر رملي في الجبال الساكسونية التشيكية . سافات أفقية . وفصمات عمودية .

الجزء الثاني

الجغرافيا البنيوية

الفصل الأول

المقدمة : تشتمل الجغرافيا البنيوية ، كما رأينا ، على دراسة طبيعة المواد الصخرية (الليتولوجيا) بالإضافة إلى ارتصافها ووضعها Disposition أي تكتونيتها . ومن المهم معرفة الصفات الأصيلة للصخور واللجوء إلى تصنيفها في البداية من وجهة النظر المورفولوجية . ولكن من المناسب أن نستبق هذه الدراسة ببعض التعاريف .

الصخر ، الفلز minéral ، التربة

لا يمكننا تعريف عبارة صخر إلا بالنسبة لتعبيرين آخرين هما : الفلز ، والتربة .

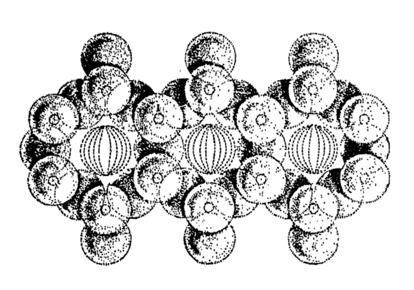
١ ـ : **الفلز** هو قسم من مادة صلبة ، ذو تركيب معروف وثابت . وعليه فإن الكوارتز هو فلز . فله تركيب كياوي ثابت هو ثاني اوكسيد dioxyde السيليسيوم SiO_2 . والفلدسبات التي هي عبارة عن سيليكات الالومين الكلسية ، والبوتاسية ، والصودية هي أيضاً عبارة عن فلزات minéraux وكذلك الامفيبول ، وهو سيليكات حديدية مغنيزية ، هو أيضاً فلز . وحتى لو وجدت عدة نوعيات من فلز معين ، كما هي في أكثر الحالات ، ولا سيا بالنسبة لأنواع الامفيبول والفلدسبات ، فإن لكل نوعية تركيبها الكياوي الجيد التحديد ، وهي عبارة عن تركيب كياوي وليس عن خليط .

/

ويمكن للفلز أن يتراءى في حالة متبلورة أو في حالة عديمة الشكل amorphe .

حالة التبلور : ترتصف الذرات على شكل شبكة حسب دورية periodicité معينة (شكل ٣٧) شبّهت ، بصورة موفقة جداً ، بدورية الجنود في الاستعراض ، أو بدورية الرياضيين في الملعب . فكل ذرة يمكنها أن تتنقل ، ولكن حسب حدود يفرضها قانون الحفاظ على الشكل الإجمالي . فللكريستال (البلور الصخري) إذن شكله الخاص (مكعب ، موشور سداسي منتظم ، الخ) وخصائصه الضوئية الخاصة به : فالنور لا يخترقه بنفس الطريقة في كل الاتجاهات .

وبالفعل فإنه هذه الخاصة هي التي تسمح بالتعرف على البلورات بدقة ، حتى المجهرية منها . وهكذا يؤخذ من العينة « شريحة رقيقة » أي مقطع ذو سماكة ضعيفة جداً (٢٥ ميكرون عادة) كي يكون شفافاً ، ثم تدرس هذه العينة بالمجهر الاستقطابي ، أي باختراقها بنور لا يهتز إلا في مستو ، أو وحتى



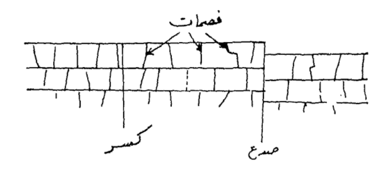
(شكل ٣٧) ـ نموذج عن البنية المتبلورة : ذرات مرتصفة على شكل شبكة . والفلز الممثل هنا هو الامفيبول .

بنور لا يرتد إلى العين إلا بعد استفادته من الخصائص الضوئية للبلورات ، والذي كان سينضب كلياً لولا البلور .

حالة اللاشكل : وهنا تتوضع الذرات دونما نظام كالزوار في ساحة معرض . وينتقل النور هنا بصورة متماثلة في كل الاتجاهات ولا يكون للفلز أي شكل خاص .

وهكذا ندرك كل الاختلاف بين الحالتين بمقارنة بلور الصخر (سيليس في حالة تبلور) مع الاوبال (حجر عين الهر) وهو سيلس عديم الشكل جزئياً .

٢ ـ أما **الصخر** فهو جزء ، لا على التعيين ، من القشرة الأرضية ، جزء يتصف بتجانس نسبي فقط . كما يشتمل على بضعة فلزات متجمعة ، على شكل متبلور أو عديم الشكل ، ويظهر كل فلز منها على شكله الأصلي أو مجزء إلى أنقاض . مثال : الصخر الكلسي والغرانيت . وهكذا يتشكل الغرانيت من الكوارتز ، ومن الفلدسبات (في أكثر الأحيان من نوعين من الفلدسبات) ومن الميكا السوداء . وقد يحتوي أيضاً على فلزات أخرى . ففي صخر غرانيت معين ذاته يختلف تجمع الفلزات ضمن بعض الحدود الضيقة ، مما يمنح الغرانيت المذكور تجانسه . ولكن هذا التجانس ليس ثابتاً بصورة مطلقة ، في حين أن لكل فلز تركيبه الثابت مهما كان التجمع .



(شكل ٣٨) ـ فصمات ، طبقات صخرية ، تكسرات تكتونية (كسور وصدوع)

هـذا وتتجزأ الصخـور حسب فـواصـل تـدعى **فصمات** diaclases (شكل ٣٨) والتي لا يجوز لنـا أن نخلطهـا مـع التكسرات cassures التكتـونيـة (كالكسـور fractures إذا لم يكن هناك تفـاوت في مستوى شفتي الكسر أو الصـدوع failles المؤدية إلى خفس أحد طرفي الصدع) ولا مع مستويـات التطبق الفـاصلـة بين بعض الطبقات .

ويبدو أن الفصمات تنجم تارة عن شروط تبرد الكتل الاندفاعية ، وتدعى شقوق التراجع ، وتارة عن تراخي الضغط خلال الأزمات والجهود التكتونيـة ، وتارة أخرى عن شروط تصلب الرسوبات بعد توضعها .

وعلينا أن نتذكر أن كلمة صخر لا تعني جلمود roc ؛ أو بعبـارة أخرى أن تسمية الصخر لا تعني قساوة فريدة . فـالرمل والغضـار همـا من أنواع الصخور كالغرانيت تماماً .

٣ ـ أما **التربة** فهي نتيجة فسـاد الصخر سطحيـاً . وقـد تكلمنـا عنهـا في الفصل الأول من الجزء الأول (ص ٢٣) .

وتخصص كلمة **مقطع** coupe لتعاقب الطبقات كما يظهر في خنـدق أو في منجم مكشوف محفور ، ويقـال أن هـذا المقطع يكشف مثلاً عن بضع طبقـات أفقية . ونستعمل بالعربية كلمة جانبية أيضاً مقـابل كلمـة profil في علم التربـة وذلك عندما تمر هذه الجانبية من عدة **آفاق** horisons ترابية . ويبـدو أنـه قـد اسيء اختيار هاتين العبارتين الأجنبيتين واللتين تقابلها كلمة **مقطع** العربية ، لأن كلمة مقطع تعني تعاقباً حسب نظام عمودي ، كتعاقب الصخور في خنـدق ولكنا لا نجد في التربة شيئاً يتمدد مع الأفق . ولكن هذا الخطأ الشـائع قـد بلغ درجة من الصلابة بحيث يتمسـك بـه النـاس دون أن يعترضوا على سماع عبـارة « أفق عميق » في التربة .

هـذا وللتربـة عمق يختلف بين بضعـة سنتميترات وبين بضعـة أمتـار : ومن المألوف أن نجـد ثخـانـات تتراوح بين ٣٠ سم و ١,٥ م . ولكن قـد يتلاشى عمق التربة تماماً ، مثلاً في الحالة التي يتمكن فيها السيلان من جرف كل التراب ، أو قد لا يتجاوز بضعة ميكرونات ، وذلك عندما يبـدأ سطح الصخر بـالفسـاد ، أي بقدر ما يكفي لتشبث النباتات البدائية مثل الحزازيات lichens .

ويجب علينا تحاشي عبارة تضريس الأرض sol عندما نتكلم عن التضريس الأرضي terrestre مثلمـا علينـا أن نتجنب عبـارة بنيـة الأرض sol في معرض الكلام عن البنية الجيولوجية . ولا يمكن الكلام عن تضريس التربة إلا عنـدمـا نريد الإشارة إلى التشوشات التي تعتري التربة ذاتها أو التضرسات الصغيرة جـداً التي تصيب التربة نفسها . وبالمقابل فـإن بنيـة التربـة sol ، تعني قوام texture التكوين الناجم عن التفسخ ، مثال ذلـك التشرنوزيوم ، وهي تربـة سوداء في السهوب السوفياتية ، وذات بنية خشنة ، تكون موشورية أحياناً .

هذا ويقسم الجيولوجيون الصخور إلى :

- صخور رسوبية .
- صخور اندفاعية .
- صخور استحالية أو متبلورة تورقية .

وتستنـد الخرائـط الجيـولـوجيـة ، ذات المقيـاس الكبير ، في رمـوزهـا indications ، وذلك ضمن كل من هذه المجموعـات الثلاث ، تستنـد على أسـاس عمر الصخر أكثر من استنادها على طبيعته .

ويقسم التـاريخ الجيولوجي إلى حقب أو أدوار eres ، التي تقسم بـدورهـا إلى منظومات أو أزمنة systèmes ، والتي تقسم بدورها إلى طوابق étages .

عمر الصخور (اقرأ الجدول من الأسفل إلى الأعلى)

الدور	المنظومات	المدة (ملايين السنين)	اللون الاصطلاحي للصخور الرسوبية
الرباعي	هولوسين بليئيستوسين فيلافرانشي	٣,٣	لون صدأ الحديد أو منقط
الثلاثي أو جينوزوئيك	النيوجين { بليوسين، ميوسين } الايوجين (نموليتي) { اوليغوسين، ايوسين }	٦٥	أصفر
الثاني أو الميزوزوئيك	كريتاسي جوراسي لياسي ترياسي	١٤٠	أخضر أزرق أزرق غامق بنفسجي
الأول أو الباليوزوئيك	البرمي الكاربونيفير الديفوني سيلوري واوردوفيسي كامبري	٣٥٠	رمادي غامق
ما قبل الكامبري		٤٥٠٠	

ويرمز إلى الصخور البركانية بلون أحمر قان .

ويرمز إلى الصخور الاندفاعية بلون وردي غامق .

ويرمز إلى الصخور الاستحالية بلون وردي فاتح .

كما يمكن أيضاً تقدير عمر الصخر بصورة مطلقة ، أي بعدد السنين . وقد سمحت دراسة النشاط الإشعاعي radio-activité لدى بعض الفلزات بمثل هذا التقدير . فنسبة الكربون ذي الوزن الذري ١٤ ، في توضّع ما ، تسمح بتقدير الأعمار التي تقل عن ٥٠٠٠٠ سنة أي أن هذا القياس مقبول فقط بالنسبة للحقبة الجمودية الأخيرة وللفترة التي تلت الزحف الجمودي الأخير . هذا ولم يتعرف العلماء بعد على فلزات مشعة تسمح بتقدير أعمار تتراوح بين ٥٠٠٠٠ و ١٠٠٠٠٠ سنة . وبالنسبة للأعمار التي تتجاوز ١٠٠٠٠٠ سنة وحتى مئات الملايين من السنين ، أي بين الدور الرابع الأوسط حتى الدور الأول ، فإن غاز الارغون والبوتاسيوم (Ar-K) يسمحان بمعرفة عمر الصخور التي تشكلت في وسط حار ، كحال اللابات والغرانيت.فقد وجد الجيولوجيون أن عمر غرانيت الطائف في المملكة العربية السعودية يبلغ ٦ مليارات سنة ، وليس بالنسبة للصخور المتشكلة في وسط بارد كالصخر الكلسي مثلاً . وهناك فلزات أخرى لمعرفة أعمار صخور الدور الأول وما قبل الكامبري .

ومن الصحيح القول بأن عمر الصخور هو مفهوم مفيد بالنسبة للمورفولوجي لكنه لا يلعب ، في أكثر الأحيان ، أكثر من دور دليل أو شاخص repére ، لأن معرفة طبيعة الصخر أكثر فائدة بكثير .

وعلى هذا الأساس يجب أن يأخذ تصنيفنا بعين الاعتبار الأشكال الطبوغرافية الناجمة عنها لأنه يختلف نوعا ما عن التصنيف الذي تبناه الجيولوجيون .

ونحن كجغرافيين نهتم بالجيومورفولوجيا سنتكلم عن صخور رسوبية كما يقصدها الجيولوجيون ولكننا سنقيم تمييزا في داخل الصخور الاندفاعية . فبعض الصخور المذكورة تتألف كليا من بلورات مرئية بصورة واضحة . وقد

تشكلت في أعماق الأرض تحت الضغط . تلك هي الصخور **البلوتونية** plutoniques[13] عند الجيولوجيين . وعلى عكس ذلك هناك صخور اندفاعية انبثقت على السطح مثل القنابل البركانية مثلا أو مسكوبات اللابة . تلك هي إذن الصخور **البركانية** . وبما أن هذه الصخور الأخيرة تعطينا أشكالا طبغرافية تختلف كثيرا عن أشكال الصخور الاندفاعية البلوتونية ، فإننا سندرسها على حدة .

ولكن نظراً إلى أن الصخور المتبلورة المتورقة cristallophylliennes تماثل ، من حيث احتوائها على بلورات ، الصخور البلوتونية ، فسنضم الصخور البلوتونية إلى الصخور المتبلورة المتورقة تحت اسم الصخور المتبلورة . وهكذا يصبح تصنيفنا على الشكل التالي :

- الصخور الرسوبية .
- الصخور المتبلورة .
- الصخور البركانية .

(١٣) نسبة إلى بلوتون وهو إله الجحيم عند اليونان .

الفصل الثاني
الصخور الرسوبية : I ـ الصخور الحبيبية

مقدمة : تعود الصخور الرسوبية لأصل خارجي ، فهي لم تصدر عن أعماق الأرض . وقد توضّعت فوق بعضها البعض ، كما نتجت كليا أو جزئيا عن انتزاعها من صخور أخرى كانت تتعرض للنقل الذي سبق توضّعها النهائي .

أولا : بعض التعاريف :

يطلق اسم الصخور **الحطامية** على الصخور الرسوبية التي تنتج كليا تقريبا عن تهديم صخور أخرى : كالصخور الرملية الناجمة عن تفتت الغرانيت . غير أن كل الصخور الرسوبية ليست حطامية . فبعضها عبارة عن صخور **مشيّدة** construites بواسطة عضويات ، أو بفعل تفاعلات كيماوية . تلك هي حالة الصخر الكلسي الذي قد لا يعود لأصل عضوي ، كالكلس المرجاني ، أو لأصل كيماوي ، أي حجر كلسي متشكل مباشرة من الكلسيوم ومن غاز الفحم .

وتعود أكثرية الصخور الرسوبية لأصل تحتمائي ، أي تحتبحري أو تحتبحيري وهي عبارة عن توضعات تشكلت فوق القيعان ، كتلك الوحول التي تستر قاع بعض البحيرات . ولكن هناك صخوراً من أصل تحت هوائي subaérienne كتوضعات دلتات الأنهار التي تصب في سبخات صحراوية مثلا كنهر تاريم ، صخور ندمجها مع الصخور الرسوبية لأنها تنضوي تحت الشروط التي ذكرناها آنفا .

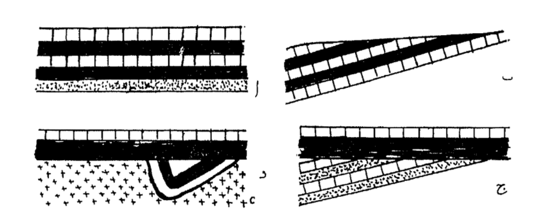
وما أن تتوضع الصخور الرسوبية حتى تتخذ شكل **طبقات** couches أو **سافات** strates تظهر في وضعها الأصلي غالبا بصورة شبه أفقية وأقدم سافين متنضدين فوق بعضهما هو الذي يؤلف ركيزة لأحدثهما . وإذا كانت السافات مائلة أو تشكل طيات ، فمعنى ذلك أنها خضعت لجهد أدى لجنوحها basculement أو التوائها بعد توضعها . ونستعمل كلمة ميل طبقي pendage لتمييزها عن **الميل** pente الطبغرافي ، ويقصد به ميل الطبقات الرسوبية بالنسبة للوضع الأفقي ويحسب بالدرجات .

وتظهر بعض التوضعات على شكل انكشافات منعزلة ، كالكثبان ، وموراينات الجموديات ، واللحقيات . وهي توضعات سطحية غير متواصلة

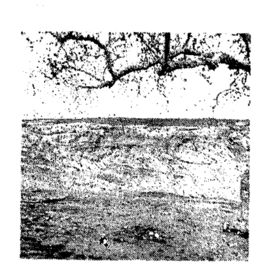
ب
س س

(شكل ٣٩) ـ التوافق الطبقي في أ . والتنافر في ب

س س : سطح التنافر . ويفصل بين زمرتين من الطبقات . فالزمرة الأولى تعرضت للجنوح وللحت بشكل حاد كحافة السكين en biseau ثم تغطّت بزمرة الطبقات العليا في أعقاب طغيان بحري



(شكل ٤٠) : التوافق (في الأعلى أ ، ب) وانعدام التوافق (التنافر) في الأسفل ج ، د



صورة رقم د ـ التنافر بين الأوليغوسين الأعلى وبين السينوني والأيوسين الأسفل قرب ميدانكي شمالي عفرين

يندر أن تكون مندمجة ضمن تكدسات صخور رسوبية أخرى . وهكذا سنعمد إلى تسميتها **بالتوضعات السطحية** . وعلى عكس ذلك سنطلق تسمية **الصخور الرسوبية البحتة** على تلك التي تظهر على شكل طبقات مستمرة نوعا ما .

١ ـ الزمر séries **والسحن** faciès : يقال أن هناك طبقتين **متوافقتين** عندما تكون الطبقة العليا راقدة مباشرة فوق سطح الطبقة السفلى ، دون أن تتخلل فترة من التخديد أو الالتواء بين توضع الطبقتين . ونطلق عبارة **زمرة** séries على مجموع الطبقات المتوافقة (شكل ٣٩ آ) .

وترقد طبقة رسوبية فوق أخرى بصورة متنافرة أو غير متوافقة عندما تظهر قاعدتها وكأنها تقاطع الطبقة السفلى ، أو بعبارة أخرى عندما تفصل مرحلة حت أو التواء بين توضع الطبقتين . وعلى العموم يتقاطع **سطح** التنافر مع بضع طبقات (شكل ٣٩ ب) .

أما التجاوز أو الطغيان transgression فيعني تقدم البحر الذي يقوم بتوضيع رسوبات بحرية فوق أساس substratum قاري .

ونستعمل عبارة **سحنة** faciès طبقة ما للإشارة إلى مظهرها الخاص . ويمكن استعمال هذه العبارة مع النظر إلى قيمتها التكوينية أو دون النظر إلى ذلك ، فنقول مثلا سحنة بحيرية ، أي أن الطبقة تشكلت في بحيرة (معنى تكويني) أو سحنة كلسية ، وهو معنى وصفي وليس تكوينيا .

هذا وليس للطبقة دوما نفس السحنة على كل امتدادها الذي تتكشف خلاله ، فقد يكون هناك **انتقال جانبي** من سحنة إلى أخرى .

واستنادا إلى أصل الترسب يمكننا أن نميز صخورا ذات سحنة :

١ ـ **قارية** (أو على الأصح تحت هوائية subaérien) .

٢ ـ **الماء العذب** (كالطورب مثلا) أو **بحيرية** .

٣ ـ **لاغونية** : أي متوضعة في بحيرة ساحلية .

٤ ـ **بحرية** : وقد يكون التوضع البحري :

ـ ساحليا néritique أي متوضعا بجوار الساحل ، في ماء ضحل ، ويكون عندئذ غنيا بالقواقع المستحاثة أو الأحافير القوقعية .

ـ بحريا bathyal أي بين عمق ٢٠٠ إلى ٢٠٠٠ م .

ـ سحيقا abyssal أي في حفر بحرية عميقة تزيد عن ٢٠٠٠ م . ونميز من وجهة النظر إلى التشكل سحناً :

ـ **حطامية** وهي التي تنجم عن تخريب صخوز أخرى وعن تركيب جديد لا أهمية له مثال ذلك : الرمال وصخور الغريه grès, sandstone .

ـ من أصل **كيماوي** (كالانحلال ، والتفاعل الكيماوي ، الخ) مثال ذلك بعض الصخور الكلسية .

ـ من أصل **عضوي** كأن يكون نباتيا (الفحم الحجري) أو حيوانيا (أو zoogène) مثال ذلك صخر الكلس المرجاني .

وبالواقع هناك مراحل انتقالية عديدة بين الصخور الحطامية والكيماوية والعضوية .

وقد سبق لبعض الصخور أن تعرضت **لتحولات** بعد توضعها ، وخاصة **للتصلب** في البدء والذي يحول الراسب إلى صخر . ولكن قد تحدث تحولات **كيماوية** أكثر تظاهرية مثل تحول الصخر الكلسي إلى حجر الرحى meulière تحت تأثيرات مذيبة (ماء المطر ، ماء معدني حار ، الخ) .

قساوة صخر ما : يستدعي مفهوم القساوة بعض الإيضاحات . فالصخر يعتبر قاسيا إذا كانت الفلزات التي يتألف منها تتصف بقرينة قساوة مرتفعة ـ وهكذا يعتبر الرمل صخرا قاسيا لأن العنصر الرئيسي في تركيبه ، وهو الكوارتز ، هو فلز قاس(١٤) . ولكن من الواضح أن مقاومة صخر حسب المفهوم المورفولوجي ، أي مقاومته للحت ، لا تتعلق بتآخذ الحبات ، وبمقاومته للفساد . وبالفعل فإن صخراً معيناً يمكنه أن يقاوم ، عامل حت معين بشكل ناجع في حين يعجز أمام عامل حتّيٍ آخر . وهكذا فإن الغرانيت يقاوم ، تحت مناخ حار ، تأثير الماء الجاري بصورة ناجعة ولكنه يستسلم للفساد الناجم عن عوامل التجوية الهوائية . وعليه يكون مفهوم الصخر القاسي نسبياً . وسنرى ذلك في الدراسة القادمة .

مدلولات السحنة عن تطور التضريس الماضي :

من المعلوم أن سحنة صخر ما قد تتمكن من أن تعرّفنا على التضريس

---

(١٤) تتراوح درجات القساوة في الفلزات بين ١ وهي درجة قساوة الطلق أو (البودرة) و ١٠ وهي قساوة الألماس ، وتكون درجة قساوة الكوارتز (المرو) ٧ درجات .

الواقع مباشرة في عالية منطقة التوضع . وفي الواقع تترسب في البحار الواقعة عند أقدام السلسلة الجبلية الالتوائية عناصر خشنة كتلك التي يرسبها في البحر المتوسط نهر مثل نهر الكبير الشمالي . وعلى العكس في مقابل سهل كسهل الدلتا في مصر لا ينقل نهر النيل إلى البحر الأبيض المتوسط سوى عناصر ناعمة قادرة على تشكيل غضاريات ، وفي أحسن الأحوال ، الرمال .

ولكن يجب أيضا عند دراسة السحنة أن نأخذ بعين الاعتبار المناخ والنبات السائدين في فترة توضّع الصخر المعين . وفي الحقيقة إذا كان يسود خلف البحر الذي يتم فيه الترسب مناخ استوائي أو معتدل ندي مع غطاء غابي يحمي الأرض ويؤدي لفساد كيماوي أكثر من حت ميكانيكي ، فلا تصل للبحر عندها سوى غضاريات ناعمة . وعلى عكس ذلك لا يترسب بمحاذاة ساحل ذي مناخ رومي (متوسطي) ، أو قاحل ، وذي نبات نادر ، وفيضانات فجائية ، لا يترسب سوى الغرين (الليمون) والحصباء . ففي الحالة الأولى حيث تسود الغابات والفساد الكيماوي الصرف والتوضع الناعم نقول نحن تجاه وضع الاستقرار الحيوي biostasie . وفي الحالة الثانية أي حيث الغطاء النباتي غير متواصل ، وحيث يقدم الحت أنقاضاً صخرية خشنة وغزيرة نقول بأننا تجاه وضع اختلال حيوي rhexistasie[(١٥)] .

٢ ـ التصنيف الجيومورفولوجي للصخور الرسوبية :

لا يصنف الجيومورفولوجيون الصخور الرسوبية بصورة مطابقة لتصنيف الجيولوجيين . وقد رأينا كيف يفصلون بين التوضعات السطحية كالكثبان

---

(١٥) تعني كلمة biostasie مرحلة الاستقرار البيولوجي المرحلة التي يتحقق فيها تحت غطاء غابي فساد الصخور وذهاب العناصر المعدنية الذوابة .

أما كلمة Rhexistasie فتمثل انقطاع التوازن بتأثير أسباب مناخية وتكتونية أو بشرية وهي مرحلة glyptogenése أي تكوين التقاطيع المورفولوجية وتبدأ بضياع الترب والأنقاض المتوضعة محليا خلال فترة الاستقرار البيولوجي .

والمورينـات الخ ... وبين الصخور الرسوبيـة الصرفـة ، مثلمـا يميزون ، وذلـك استنادا إلى التقاطيع المختلفة التي تعطيها الصخور ، بين الصخور ذات الحبات ، أو الحبيبية ، وبين الصخور المتجانسة المشيدة التي تعتبر الصخور الكلسية من أهم نمـاذجهـا . ونميز ضمن الصخور الحبيبيـة تلـك التي تحوي على مـلاط يربـط بين الحبات ، كحالة صخر الغريه أي الحجر الرملي sandstone أو البودنغ عن تلـك التي تتألف على العكس من حبات مستقلة غير مرتبطة ، كالغضار والرمل .

ثانيا : الصخور ذات الحبات غير المتلاحمة بملاط

١ ـ **التصنيف :** عنـدمـا لا تكون الحبـات متـلاحمـة ، تصنف الصخـور حسب كبر هذه الحبات ، وذلك حسب قرينة تبدو فيزيائية بحتة .

وهناك عدة تصانيف استنادا إلى أبعاد الحبات . وإليكم أكثر هذ التصانيف بساطة :

حبات يزيد طولها عن ٢٠٠ مم : جلاميد blocs .

حبات تتراوح بين ٢٠ و ٢٠٠ مم : حصباء galets أو حصويات .

حبات تتراوح بين ٢ و ٢٠ مم : بحص gravier .

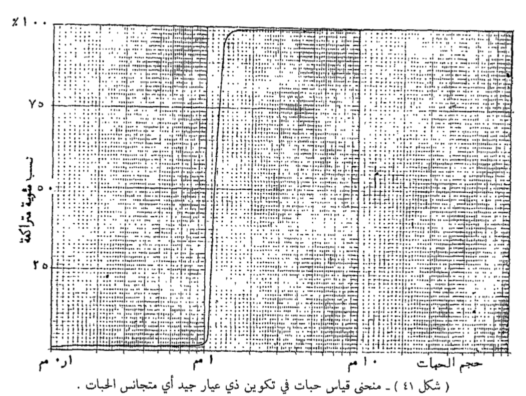
حبات تتراوح بين ٠,٢ و ٢ مم : رمل خشن .

حبات تتراوح بين ٢٠ ميكرون و ٢٠٠ ميكرون : رمل ناعم .

حبات تتراوح بين ٢ ميكرون و ٢٠ ميكرون : ليمون (غرين) limon .

حبات تقل عن ٢ ميكرون : غضار تؤدي أبعـاده المتنـاهيـة في الصغر إلى تكوين محاليل غروية .

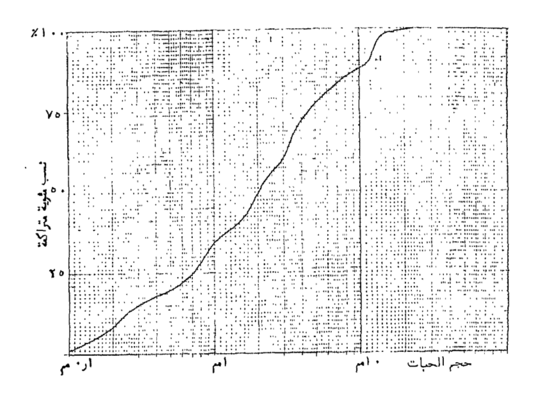
ومن المنتظر أن لا تكون جميع التكوينات الجيولوجية حسب عيار قياسي



(شكل ٤١) ـ منحنى قياس حبات في تكوين ذي عيار جيد أي متجانس الحبات .

واحد calibrés وغالبا ما نجد الصخر يحوي على عناصر ذات أبعاد متبدلة . ويطلق على دراسة أبعاد الحبات اسم **الغرانولومتري** أو قياس الحبات . ويمثّل التركيب الغرانولومتري لتكوين جيولوجي ما بواسطة خط بياني . وفي أغلب الأحيان توضع مقاييس الحبات على محور السينات حسب تدرج لوغاريتمي أما على محور العينات فتمثل النسبة المئوية المتراكمة cumulés ، لكل مقياس taille حسب سلّم حسابي .

ويدل الشكل ٤١ على تكوين صخري جيد التصنيف لأننا لا نجد فيه سوى القليل من الحبات التي تقل عن ١ مم والقليل من الحبات التي تزيد عن ١,٥ مم لأن كل هذا التشكل الصخري يتألف من عناصر يتراوح معيارها بين هذين الحدين . وعلى خلاف ذلك يمثل الخط البياني في الشكل ٤٢ تشكيلا صخريا مؤلفا من حبات ذات مقاييس مختلفة فنقول أنها **متباينة المقياس** hétérométrique في حين كانت الحبات في الشكل ٤١ **متجانسة المقياس**

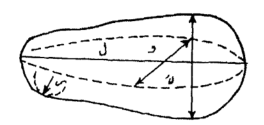


(شكل ٤٢) ـ منحنى قياس حبات في تكوين ذي عيار رديئ أي متباين المقياس . إن ربع وزن الحبات في هذا التكوين له قياس يقل عن ٠،٧ مم ، والربع الثاني بين ٠،٧ و ٢ مم ، والربع الثالث بين ٢ و ٥ مم ، والربع الأخير أكثر من ٥ مم .

homométrique . وعندها نكون تجاه تكوين مؤلف من حصى مندمجة في غرين Limons أو عبارة عن تكوين صخري تختلط فيه الرمال مع الغضاريات .

غير أن دراسة المقياس لا تكفي لتمييز صخر ذي حبات ، إذ يجب أن نأخذ أيضا بعين الاعتبار التركيب الجيولوجي لهذه الحبات أي هل هي مؤلفة من حبات كوارتز أو من فتات صخر كلسي الخ ؟ كما أن علينا أن نتعرف على شكل ومظهر هذه الحبات وهو يسمى **ملاحظة الشكل** morphoscopie .

ومن اللازم أيضا عندما نكون أمام رمل ، أو كوارتز ، أن نميز بين الحبات السليمة non usés التي لم تتعرض لانتقال طويل وبين الحبات المدورة



(شكل ٤٣) - قياس قرينة التدورة في بحصة ، فقد وضعت البحصة المقصودة بوضع منبسط بحيث يشير مستوى التمثيل في الشكل إلى أكبر عرض وهو لَ ، ويرمز و إلى السماكة و ل إلى الطول ، ور إلى أصغر نصف قطر في الانحناء .

émoussés البراقة أي التي خضعت لنقل طويل في الماء النهري والبحري ، وبين الحبات المدورة الكامدة mats وهي التي خضعت لانتقال ريحي كما أن الصدمات الناشفة á sec خلال الانتقال تركت عليها تكسرات عديدة ومجهرية نجمية مما يحول بين الحبة وبين اللمعان .

وعندما نكون أمام حصباء أو حصويات فعلينا دراسة درجة **تدورتها** émoussé . فإذا كانت التدورة معدومة نقول إنها حصى ، وإذا كانت التدورة محسوسة نقول إنها بحصة . هذا وتقاس درجة تدورة البحصة بوضعها بحالة منبسطة (شكل ٤٣) ونعبر عن هذا القياس **بقرينة** indice تمثل العلاقة بين قطر دائرة أصغر انحناء في البحصة المذكورة وبين أكبر محور فيها ، أو بين ضعف نصف قطر أصغر انحناء وبين أكبر محور في البحصة المقصودة وهذا لا يغير شيئا في النسبة :

$$\text{ق} = \frac{\text{٢ ر}}{\text{ل}} .$$

هذا ويمكن تطبيق كل هذه الطرائق سواء بالنسبة للصخور الرسوبية الصرفة أو بالنسبة للتوضعات السطحية ، حتى ليمكن تطبيقها ، كما يحدث عادة ، في دراسة قياس حبات التربة . ونلاحظ بالفعل أن التعابير الجيولوجية

التي تدل على الصخور ذات الحبات تستعمل أيضا بالنسبة للأنقاض الناجمة عن فساد صخر ما : وإذا كان هناك بالواقع غضاريات ورمال هي عبارة عن صخور رسوبية صرفة متوضعة على شكل زمر من السافات ، فإن البعض الآخر تكون ، على العكس ، ناجمة عن فساد كياوي محلي (غضار خاصة) أو عن تفكك ميكانيكي (رمل خاصة) . غير أننا لن ندرس هنا سوى الغضاريات أو الرمال التي تؤلف صخورا رسوبية بحتة .

٢ ـ **الرمال :** تتألف الرمال عموما من حبات **الكوارتز** لأن الكوارتز مقاوم وغير قابل للفساد فعلا ، ولأن الفساد قد انتزع العناصر الأخرى من حوله . ويعتبر الكوارتز مقاوما للغاية لأنه قاس ولكن لا يمكن اعتبار الرمل كصخر مقاوم لأن من الممكن جرف أية حبة بمعزل عن جارتها : أي أن الرمل **هش** ، لا سيا إذا كان جافا ، اللهم إلا إذا كان مندمجا في مادة غضارية أو عندما يكون متجمنداً gélif .

هذا وتكون السفوح الرملية محدبة للغاية لأنها تكيفت خاصة بفعل ظاهرة الزحف creeping ، غير أن الرمل يتكيف تحت المناخ الجاف أو على السواحل المحرومة من النبات ، على شكل كثبان ، كما سندرس ذلك في بحث الجيومورفولوجيا المناخية .

هذا ويعتبر الرمل **منفذاً** لأن الماء يتسرب بين الحبات . ولما كانت الفواصل بين الحبات ضئيلة ، فسرعان ما يصاب الرمل بالإشباع في حالة تساقط المطر على شكل وابل وعندها يشكل الماء في خطوط القاع جداول وقتية .

هذا وتستطيع المؤثرات الكياوية تحت بعض المناخات أن تساهم أيضا في جعل الرمل كتيما رغم نفاذيته الأصلية. ففي مناخ رطيب وبارد نوعا ما

تشكل الرمال تربة متآخذة وهي البودزول كما في أواسط روسيا مما يزيد في شدة كتامة الرمال . كما تعتبر ترب منطقة اللاند في مقاطعة غاسكونيا ، وهي منطقة مستنقعية ، نوعا من تربة البودزول تسمى آليوس alios .

٣ ـ **الغضاريات** : وتكون على خلاف الرمال ، **كتيمة جدا** لأن الفراغات بين الحبات تكون أصغر ولا سيما وأن الماء والغضار يشكلان معجونة وذلك عندما يتغلغل الماء بين الوريقات المجهرية التي تؤلف ذرات الغضار . ويعاني ذلك من يمشي فوق أرض ذات تربة حمراء بعد الأمطار الشديدة . ولهذا نجد في المناطق الغضارية **شبكة أودية نهرية كثيفة ومتشعبة للغاية** .

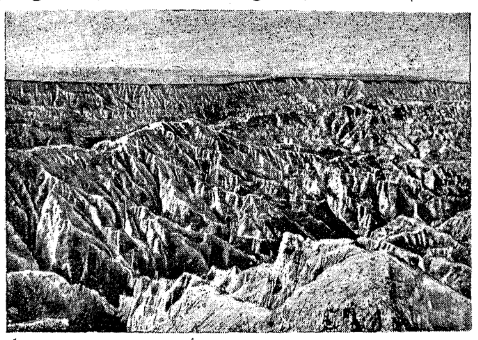
ونظرا إلى أن الغضار يؤلف معجونة مع الماء فهو يتعرض **لجريان التربة** Solifluer ولكن لكي يتحقق ذلك يجب أن يكون تسرب الماء عميقا وهذا نادر بسبب الكتامة ذاتها . والواقع لا يجري الغضار فعلا إلا إذا تخللته سافات أكثر خشونة تشكل مستوى مائيا .

وعلى العموم يعمل الماء الذي يسيل فوق الغضار على تحزيزه بسهولة . فهو **يخدّد** ravine المناطق الغضارية . وفي المناطق ، ذات الأمطار النادرة والعنيفة ، والفقيرة بالنباتات تتشكل مسيلات متشعبة ، ضيقة جدا ومتقاربة من بعضها بشدة ، ويصل عمقها إلى بضعة أمتار ، تنفصل عن بعضها بأعراف حادة نسبيا ، مما يمنح المنطقة مشهدا عسيرا أمام المشاة ويدعى **الأرض الرديئة** bad lands ، وقد استعير من اسم منطقة الأراضي الرديئة في ولاية داكوتا في الولايات المتحدة . أما على السفوح الشديدة فيعطي الغضار **عدسات** loupes الانزلاق التي تجعل السفح كله مغشّى بالحدبات الصغيرة .

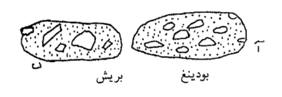
وبالفعل لا نرى ظاهرة الزحف هنا بشكلها النموذجي لأن الحبات تكون مترابطة فيما بينها .

أما فوق الأراضي المنبسطة إطلاقا والعديمة الانحدار فإن الانزلاق يصبح أمرا مجهولا شأن التخديد الذي يعجز عن إثبات وجوده . تلك هي حالة قيعان البحار الغضارية القديمة كبحر شامبلان في كندا . فبحر شامبلان الذي غطى الأجزاء المنخفضة في هذا القطر بعد آخر زحف جمودي قد تلاشى الآن ولكن غضارياته تشكل سهولا فسيحة منسجمة . وتماثل غضاريات بحر شامبلان غضاريات أخرى من نفس العصر تدعى غضاريات يولديا Yoldia (وهو اسم مستحاثة مميزة) التي تشكل السهول الكبرى على حواف بحر البلطيك .

وعندما يتجفف الغضار يتشقق عموديا وأفقيا حسب أشكال مضلعة . ولكن ما أن يهطل المطر بغزارة حتى يتبلل بالماء ويتشرب به حتى عمق



صورة رقم ٦ البادلاند في داكوتا . نشاهد في صدر الصورة السطح الأفقي البدائي الذي يقص فيه الحت تيهاً من المسيلات والأعراف غير المستقرة ويساعد على ذلك فقدان النبات .



(شكل ٤٤)

لا بأس به مما يساعد على الانزلاق أو على التخديد إذا ساعد الانحدار على ذلك .

٤ ـ أما **المارنيات** فهي غضاريات تحوي على نسبة متباينة من الكلس ، وعندما تكون فقيرة بمادة الكلس تتطور بصورة مماثلة لتطور الغضاريات ، كما في الصورة رقم ٦ .

ثالثا : الصخور ذات الحبات المتلاحمة :

تنقسم الصخور ذات الحبات المتلاحمة cimentés إلى مشبك conglomérat وإلى خرسان أو غريه . **فالمشبك** أو **الكونغلوميرا** عبارة عن مجموع متلاحم مؤلف من حبات كبيرة الأبعاد وشديدة التنوع تضم حصويات وحصباء وأحيانا جلاميد حقيقية . أما **الغريه** أو الخرسانة فيتألف من حبات رملية ذات تركيب غرانولومتري متجانس نسبيا ، ولكنها تكون دوما مترابطة بأسمنت (ملاط) .

ونميز ضمن صخور المشبك بين الكسارة ، أو **البريش** bréche التي تتصف بالطابع الزاويّ المعهود في العناصر التي تتركب منها والتي تنجم عن ترسب الحطام الصخري المنهال أو عن ترسب الكسرات المتفككة بفعل الجهد التكتوني وتدعى البريش التكتوني ، وبين **البودنغ** poudingues (شكل ٤٤ آ) والتي تنجم عن تلاحم حصباء أو جلاميد من أصل لحقي كالجلاميد السيلية مثلا .

وتكون صخور المشبك والخرسان (الغريه)[16] مقطعة على الغالب بفعل وجود الفصات والتي يستغل الحت النطاقات الضعيفة في الفصات المذكورة فيقوم بتعريضها . وهكذا تنهال على شكل جدران عمودية لأن تآخذها يتعلق بدرجة تلاحمها ، فيبقى بين الفصات التي تزداد عرضا ، خشوم متقدمة ذات مرتسم بمشرشر festonné وتلاع buttes[17] . وتنهال من الجروف العمودية جلاميد برمتها مما يعطي مشهدا بديعا فوضويا تهيمن عليه أعمدة حقيقية .

وهناك مناطق واسعة مؤلفة من صخور الغريه لوحدها كهضاب البرازيل الواسعة ، وهضاب تاسيلي في الصحراء الكبرى وفي إفريقيا المدارية وفي وادي موسى جنوب غرب المملكة الأردنية وشمالي المملكة السعودية كما في مداين صالح وجبال الفوج الفرنسية وجنوبي مصر في إقليم النوبة (الخ) .

هذا وتتفاوت مقاومة صخور الغريه الرملية حسب طبيعة ملاطها ، أي الاسمنت الذي يربط بين حباتها ، وأشد هذه الصخور قصاوة ومقاومة هي التي لا تكون حباتها سيليسية فحسب بل يكون ملاطها ذاته سيليسيا أيضا كصخور **الكوارتزيت** مثل حجر الجلخ الذي تستعمل بكراته في شحذ السكاكين . ولكن هذه الصخور الشديدة القساوة والقادرة على تشكيل أعراف حادة تكون على العموم عبارة عن صخور استحالية والتي سنتكلم عنها في الفصل الرابع .

---

(١٦) الحجر الرملي ، وغريه، وخرسان بمعنى واحد وتقابل جميعا كلمة grès الفرنسية و sandstone الانكليزية .

(١٧) التلاع تعني التلال ذات القمم المنبسطة المستوية على خلاف التلال ذات القمم المدورة غالبا .

الفصل الثالث

الصخور الرسوبية : II- الصخور الكلسية

مقدمة : وهي صخور متجانسة ولا تحوي على حبات منفصلة . وتنجم عنها تضاريس ذات أصالة متميزة كجبل الزاوية وجبل باريشا والأعلى في شمال غرب سورية وجبال الألب الدينارية في يوغوسلافيا ، وفي كوبا الخ . وتتألف من وديان ذات خوانق ، ومن منخفضات مغلقة دون جريان خارجي منظور ، ومن كهوف وأنهار باطنية تظهر في النهاية على شكل ينابيع ذات صبيب ضخم تدعى انبجاسات أو ينابيع فوكلوزية ، ومن تضريس ذي بروزات عالية مسننة ذات حواف عمودية ، وسوى ذلك من المظاهر والملامح ذات الأصالة المميزة والتي تثير الدهشة والاستغراب .

هذا التضريس المستغرب هو التضريس الكارستي ، أي التضريس الناتج عن تفوق أسلوب الحت بفعل التحلل والذوبان . غير أن كل تضريس كلسي ليس كارستيا بالضرورة ، فلن يكون هناك تضريس كارستي إذا كان التحلل منعدما أو ملحقا بأشكال حتية أخرى . وعلى العكس قد نعثر على تضاريس كارستية في صخور غير كلسية ، كالصخور الملحية أو الجبسية مثلا ، لأن التحلل يعمل فيها بشكل نشيط جداً ، بيد أن هذين النوعين من الصخور لا ينتشران كثيراً وعلى نطاق واسع على سطح الأرض .

أولا : تركيب الصخور الكلسية وخصائصها .

الصخور الكلسية عبارة عن **كربونات الكلس** Co_3Ca المتفاوتة في درجة صفائها ونقاوتها . فتكون كربونات الكلس **ذوّابة في الماء المشحون بالحامض الكربوني** . هذا وينفذ الماء بسهولة ضمن طبقات الصخور الكلسية لأنها متشققة fissurées أفقياً لوجود شقوق التجفف أو التراجع وأفقياً لوجود المستويات التطبقية . ولكن الصخر الكلسي لا يمكن اعتباره منفذا على المقياس الصغير ، أي على مسافة بضع أو حتى عشرات السنتيمترات مثلا ، ودليل ذلك أننا نصنع منه الأجران لشرب الماشية ، ولكن يكون الصخر المذكور

منفذا على مقياس كبير بسبب وجود هذه الشقوق المذكورة . ولهذا تتعرض المناطق الكلسية للحت بفعل التحلل ولا يبقى منها محليا سوى الشوائب غير القابلة للانحلال ، والتي لا تؤلف على العموم أكثر من جزء ضئيل من الصخر .

ثانيا ـ الصخور الكلسية غير الكارستية

إن الصخور الكلسية غير الكارستية هي الغنية بالشوائب . وإليكم بعض الأمثلة عنها :

فحجر **الرحى** meulière هو عبارة عن صخر كلسي سيليسي ينتج عن تحلل كربونات الكلسيوم وتوضّع السيليس المنحل فورا فوق جدران تجاويف التحلل . وهو صخر كتيم ، لذا يعتبر الصخر الكلسي الوحيد الذي لا يسمح للماء بالنفوذ ، وهو شديد المقاومة ، بحيث يستطيع تشكيل هضاب ذات حافات قائمة كما هو الحال في جوار باريس .

أما **الحوار** فهو صخر شديد الانتشار بشكل خاص في بلاد الشام كما في هضاب حماه وشرقي حلب وحوض نهر اليرموك مثلما ينتشر في شمال غرب اوروبا بين حوض باريس وحوض لندن وحتى الجزر الدانمركية . وهو عبارة عن صخر كلسي ناعم الحبات ، مسامي ، خفيف ، سريع التفتت وينكبس بسهولة تحت وطأة وزنه ، كما يكون مارنياً أحياناً مما يزيد في قابليته للانكباس . ويكون التضريس الحواري متنوعاً للغاية ، فبإمكانه أن يعطي ، عند تعرضه لنسف أمواج البحر ، جروفاً على شكل جدران هائلة أي على شكل رواشن تتراجع بسرعة ، لأنها طرية ، ولكنها على درجة من التماسك بحيث تنهال على شكل كتل عمودية ، كحال منطقة الروشة في بيروت ، أو كالساحل الجنوبي للجزيرة البريطانية المطل على بحر المانش .

أما في التضريس القاري فيعطي الحوار عراقيب croupes محدبة لأن انقاضه صغيرة وزاوية تتعرض لظاهرة الزحف creeping وليس إلى السيلان . ونجد بين هذه العراقيب خطوط قاع هي في الواقع عبارة عن أودية جافة يندر أن يجري الماء فيها وتكون على شكل المهد . كما يعتبر الحوار حساسا جدا بالانجماد . ففي بعض المناطق مثل منطقة الشامبانيا الفقيرة في شرقي باريس أعطى الحوار ، خلال الفترات الباردة في الرباعي ، سفوحاً ضئيلة الانحدار ، وسطيا بين ٣ إلى ٤ درجات ، انتشرت فوقها أغشية من فتات زاوية الشكل مندمجة جميعا ضمن الغضار .

أما **الفليش** flysch فهو عبارة عن تعاقب سافات كلسية مع سافات مارنية ، يبلغ سمك كل منها المتر الواحد ، أي يظهر على شكل تورق مارني كلسي ، وقد يكون خرسانيا أحياناً . ويظهر صخر الفليش على شكل تكدسات سميكة معاصرة لتشكل السلاسل الألبية وتكوّن في البحر الذي انبثقت منه الجبال المذكورة . وهكذا لا يعطينا الفيلش تضاريس بنيوية بديعة لأنها تتهدم بسهولة ، كما لا يكون كارستيا لأن السافات المارنية التي تتخلله تعتبر كتيمة . ولذا تكون تضاريسه عبارة عن تلال عالية عديمة الشكل .

ثالثا : الصخور الكلسية الكارستية .

تتألف الصخور الكلسية الكارستية ، أي تلك إلتي يتميز تضريسها بالتطور الذوباني ، من صخور كلسية نقية نسبيا أو من صخور دولومتية ، أي من كربونات الكلسيوم والمغنيسيوم الثنائية .

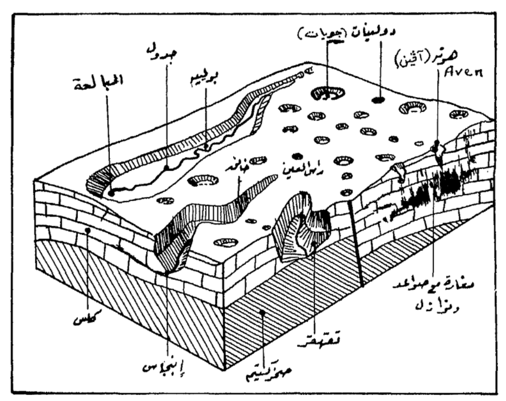
ولصخور **الدولومي** تضريسها المتميز . واستنادا إلى نسبة فحمات الكلسيوم

الذوابة وفحمات المغنيسيوم غير القابلة للانحلال عمليا ، فإن الذوبان يعمل بسرعة متفاوتة جداً على الصعيد المحلي ، مما يؤدي لنشوء أشكال خرائبية كتلك التي نراها على السفوح الجنوبية من جبل الزاوية . وإذا كان الدولومي أقل استعدادا للذوبان ، نظريا ، من الصخر الكلسي النقي لأنه يحتوي على فحمات المغنيسيوم ، فهو مع ذلك أكثر عرضة للحت المائي لأنه مسامي للغاية .

وقد صدرت كلمة **كارست** karst من جذر لغوي قديم يعني حجر . وقد اطلقت على منطقة واقعة على طرفي الحدود اليوغوسلافية الايطالية ومن ثم استعملها الجغرافيون في كل المناطق المماثلة .

وتكون المناطق الكارستية حجرية بشكل يلفت الأنظار لأن الصخر الكلسي لا يعطي قطعاً صغيرة تتفتت على السفوح على شكل غضاريات أو على شكل جلاميد ، وهكذا لا تتعرض السفوح لظاهرة الزحف كما لو كانت مؤلفة من حبات رملية . ولهذا تشتمل على جانبيّة profil زاويّة مع جروف شاقولية تنفصل عن انحدارات لطيفة أو عن حدورات الانهيال . وتكوّن الهضاب الكارستية عارية ، تندر فيها الأودية أو تنعدم ، ولكنها تحوي على **منخفضات مغلقة** ذات أشكال وأبعاد مختلفة . ويفسر هذا التضريس الذي لا نعثر فيه على أي من علامات الحت النهري ، يفسر بالغياب الكلي تقريبا لكل جريان سطحي رغم أن المناخ يسمح ، نظرا لرطوبته الكافية ، بنشوء شبكة مائية نهرية دائمة .

فهنا يتسلّل الماء ضمن الصخر الكلسي ويتجول في الأعماق **وهو يذيب الصخر داخليا** . أي أن كل شيء يجري كما لو كانت المنطقة تتجوف وتنخر بشكل سري مجهول وتتفرغ من محتواها وهي تذوب على نفسها .

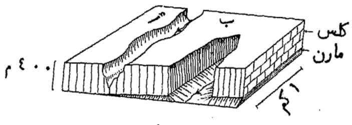


(شكل ٤٥) ـ هضبة تحمل مظاهر كارستية متنوعة

آ ـ قائمة الأشكال الكارستية .

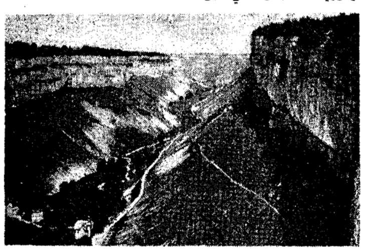
١) **الخانق** canyon : وهو شكل مألوف كثيراً في المناطق الكارستية ويمثل مع ذلك جريانا مكشوفا (تحت الهواء) وهو واد ذو خواصر منتصبة ، أو كأنه عبارة عن خندق شقة منشار بين الهضاب الكلسية (شكل ٤٦) . ويمثل خانق الكولورادو ، وخانق العاصي شمالي جسر الشغور ، ونهر التارن في منطقة القوص causses الفرنسية ، وتمثل جمعيا أمثلة بديعة عن هذا الشكل المورفولوجي .

وتدل قساوة السفوح ونفاذيتها على أن معظم نشاط الحت إنما يتم في قاع



(شكل ٤٦) ـ خانق (أ) ودخلة (ب)

في الشكل أ لا يدرك النهر الطبقة الكتيمة المارنية السفلية فهو يعمل على تكييف خانق . أما النهر في ب فيجري فوق المارن ولذا يظهر الوادي عريضا لأن قاعدة السفحين تشتمل على انحدار لطيف . لاحظ شكل الطريق المسدود . وهنا يختفي النبع الفوكلوزي خلف الجدار الكلسي الأيمن .



صورة رقم ٧ ـ وتتألف الجروف القائمة العارية هنا من صخر كلسي في حين تتألف السفوح المائلة نحو خط القاع من صخر طري . (الصورة من فرنسا) . لاحظ تشابه الصورة مع الشكل ٤٦

السرير في حين أن الجوانب تتطور ببطء . وهكذا تظهر السفوح وكأنها تعاقب من جدران قائمة ، ومن شرفات ورواشن ومن حدورات أقل ميلا ، والجميع مرتصف حسب تناوب السافات الكلسية . أما الأنهار التي تجتاز المناطق الكارستية على شكل خوانق فهي أنهار **غريبة** allogènes ، أي تستمد ينابيعها من خارج نطاق الهضاب الكارستية ، أي من مناطق كتيمة ، أنهار تستطيع عند اختراقها المنطقة الكلسية أن تحتفظ بقسم من مياهها بفضل جريانها فوق قاع لحقي يخفف من وطأة الخسارة الناجمة عن التسرب ، كحال نهر التارن

الـذي ينبع من سفح جبل ذي صخور متبلورة في اقليم لوزير Lozère ، أو نهر العاصي عند اختراقه سهل الغاب حتى سلقين .

ومن النادر أن تكون الخوانق ، بالأصل ، عبارة عن أنهار قـديمـة بـاطنيـة انهـارت سقـوفهـا كـوادي الرمـل في قسنطينـة في الجـزائر وحيث نجـد جسراً طبيعيـاً ، بـل على الغـالب هي أنهـار تعمقت في مكانهـا . هـذا ولا نعثر على الخانق إلا إذا كان الصخر الكلسي الذي نشأ فوقه سميكا لدرجة كافيـة كي يظهر هذا الصخر المذكور سواء في قاع الوادي أو على السفوح . وعلى خلاف ذلك إذا بلـغ النهر في تعمقـه طبقـة كتيمـة سفلى ، كالمـارن مثـلا ، فـإن تطـور الـوادي سيكون مغايراً تماما ، ذلك إن الوادي سيزداد عرضا ابتداء من قاعـه لأن تطور السفوح بفعل السيلان يتم بسرعـة فوق الصخر الكتيم ، ممـا يؤدي لظهور مقطع الوادي على شكل حرف U ، وتكون الأشكال الفضفاضـة في القـاع تحت هيمنـة جروف عمودية . أمـا من جهـة العـاليـة فينتهي الوادي عنـد نبع فوكلوزي أي عنـد تمـاس الطبقـة الكتيمـة مع الصخور الكلسيـة التي تعلوهـا . ولكن الـوادي ينغلق فوق النبع الفوكلـوزي بـواسطـة جرف كلسي . وهكـذا نكـون أمـام واد مسدود ، مثل وادي اوتوار Autoire الواقع عنـد حـافـة هضبـة كيرسي Quercy الفرنسيـة أو **دخلـة** reculèe ، كما في حـافـة هضبـة الجـورا المشرفـة على وادي الساؤن saône حيث تسمى « نهاية العالم » (شكل ٤٦ ب) ووادي بانيـاس الـداخل في هضبة الجولان .[١٨]

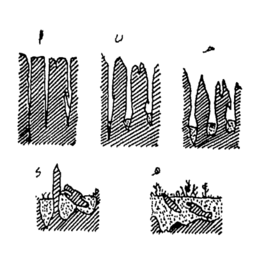
هـذا ويستمر تقهقر رأس الوادي بصورة نـاشطـة بفعل النسف النـاجم عن

---

(١٨) ونجد مثل هذه الأشكال ايضاً حيثما تغطي صخور الغرية أو اللابات طبقـة كتيمـة ، كحـال وادي تل شهاب المؤلف من سفوح عليا بازلتية قائمة فوق طبقـات مـارنيـة بيضـاء كتيمـة ، أي لاتنحصر هـذه الأشكال بـالمنـاطق الكلسية فقط .

عمل النبع الفوكلوري . وهكذا تهاجم الدخلات الموائد الكارستية في حين تظل الخوانق شبه سليمة تقريبا .

٢ ـ **الأشكال البنيوية** : إذا كان الصخر الكلسي ملتويا ، كما هو الحال في سفوح جبل لبنان الغربي ، فهو يتعرض لهجمة الحت ، كما سندرس ذلك في معرض كلامنا عن التضريس الالتوائي . وعندها يولف تلاعا ذات قمم مائلة أو متقعرة gondolé يكون سطحها ذو المظهر الحجري متميزا ويتسرب الماء في كتلتها على شكل شبكة عميقة تمارس التحلل . وتسمح نفاذية الصخر ومقاومته لهذه التضاريس الكلسية ، المحفوفة بجدران كبيرة قائمة ، بالصمود لمدة طويلة في وجه التهديم الحتي : تلك هي حالة هضاب فيركور Vercors المتوجة في جبال مقدمة الألب ، أو القمم العالية المنعزلة في منطقة غراند شارتروز التي تؤلف مثالا نموذجيا (انظر بحث تضريس الطيات البسيطة . فصل ٧) ، وفي جبل صنين في جبل لبنان الغربي أو جبل حسّية شرقي الزبداني .



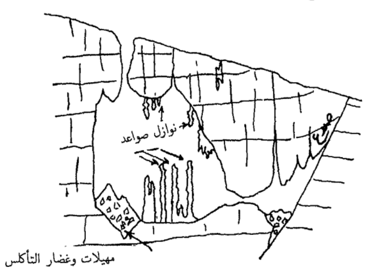
(شكل ٤٧) ـ يرينا مراحل تطور الحدوش الكارستيه



صورة رقم ٨ ـ اللابييز في هضبة جبل سمعان

٣) **اللابييز** lapiez وهي عبارة عن خدوش تعتري سطح الصخور الكلسية . وقد تكون مستورة بالتراب أو تظهر عارية . ففي الحالة الأولى (أي اللابييز الكامن Virtuel) يجري حت الصخر بفضل الرطوبة والأحماض الدبالية في التربة ، وفي الحالة الثانية فإن ماء السيلان هو المسئول عن تآكل الصخر . وتكون الأشكال حينذاك غريبة مؤلفة من ميادين حجرية ومن قنوات عميقة الخ . وتبلغ ابعاد التجاويف وتضاريس اللابييز حوالي المتر أحياناً .

٤) **الأفن** Aven أو الهوتة : وهي عبارة عن هوة على شكل محقن أو قمع فتحته الواسعة باتجاه الأسفل ينفتح على سطح الهضبة . ويكون لبعضها شهرة محلية مثل آفن آرمان في هضبة ميجان الكلسية ، أو هوتة عنجارة جنوب غرب حلب ، أو تدعى خفساً مثل خفس المذنب في القصيم ، في نجد ، وخفس هيت ودغرة وعين الخرج إلى الشرق من مدينة الرياض ، أو هوتة باديراك في

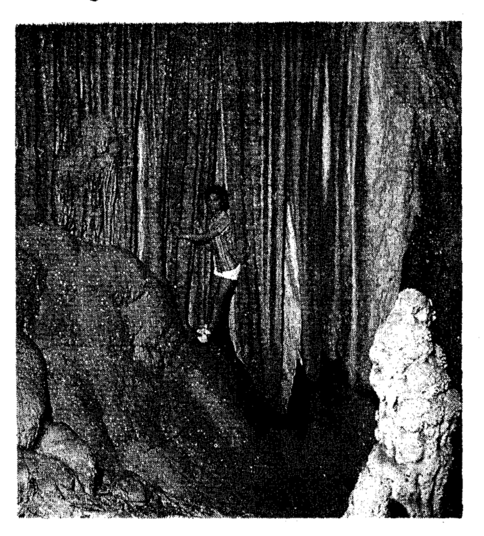


(شكل ٤٨) ـ نموذج لآفن .

لاحظ استغلال الحت الكارستي للشقوق وللصدع ويعتبر غضار التأكلس بقية التحلل ، فهو يتألف من شوائب ضمن الصخر الكلسي صدع . نوازل . صواعد . مهيلات وغضار التأكلس .

قوص كيرسي في أواسط فرنسا . وتتشكل الآفن ابتداء من شق سطحي يقوم التحلل بتعريضه كما تعمل الانفكاكات décollments والانهيالات على تعريضه أيضاً . وقد يتصادف الآفن عندئذ مع شقوق أخرى تزداد عرضا بدورها ، مما يمنحه أبعادا هامة (شكل ٤٨) .

وتقود الآفن في بعض الحالات إلى مغارة يتولد من سقفها الكثير الشقوق نوازل مؤلفة من توضع الكلسيت الذي تشتمل عليه مياه التسرب ، في حين ترسب المياه المتساقطة من قبة المغارة الكلسيت فوق قاع المغارة ، ذلك



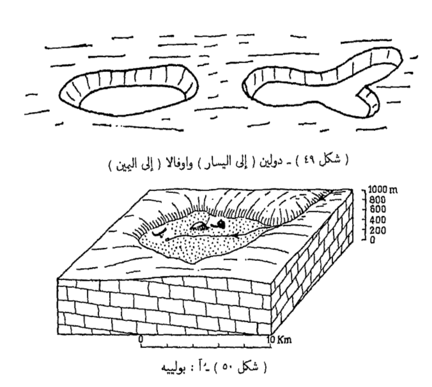
صورة رقم ٩ : السجف المتدلية في داخل مغارة جعيتا ، وشكل القرنبيط صاعدة إلى اليسار

الكلسيت الذي يشكل الصواعد . ويعود جمال هذه المغارات الكارستية وروعتها إلى تنوع أشكال هذه المسلات الكلسيتية التي تظهر وكأنها قطع الكريستال المتدلية من الثريات (النجف) ، أو على شكل زهرة القرنبيط الخ وقد اكتشفت في عام ١٩٧٨ مغارة كارستية بديعة في قرية كفر بهم بجوار حماة .

٥) **الدولين** doline وهي عبارة عن منخفض ذي شكل بيضوي ، ذي حواف متعرجة أحيانا ولكنها لا تكون زاويّة (شكل ٤٩) . وتكون حافة الدولين على الغالب ذات ميل شديد يتكشف الصخر فيه عاريا في حين تفرش التربة قاع المنخفض ، وهي التربة الزراعية ، التي تتألف غالباً من غضار التأكلس décalcification ، أي البقية الباقية من الشوائب التي كان يشتمل عليها الصخر الكلسي قبل الذوبان ، ويميل لونها إلى الحمرة . وهكذا تعطي الدولين شكل سطل ، ولكن هناك الكثير من أنواع هذا النموذج الكلاسيكي . فلبعض الدولينات شكلا انتقاليا بين شكل سطل وشكل قمع . كما تكون أبعاد أو مقاييس الدولينات متباينة جداً ، إذ يتراوح قطرها بين بضعة أمتار وبضع مئات الأمتار ، مثلما يختلف عمقها بين بضعة أمتار وأكثر من ٢٠٠م مثل دولين جبل الوسطاني في قرب جسر الشغور .

ويعود أصل الدولينات ، أو الجوبات ، كما يظن ، إلى وجود نقطة امتصاص لأن ماء المنخفض المغلق لا يمكن أن يجري بعد هطول المطر إلا باتجاه الأعماق . ولكن لماذا لا يتشكل عند نقطة الامتصاص آفن aven ، أي هوتة ؟ وتعترض الإجابة على هذا السؤال مشاكل عويصة .

٦ ـ **الاوفالا** ouvala : إذا كانت هناك عدد دولينات ناشطة ومتجاورة فإنها تعطي بعد تداخلها منخفضا أكثر اتساعا ذا حواف متعرجة تماثل إطار وردة غير منتظم ، تدعى اوفالا (شكل ٤٩) .

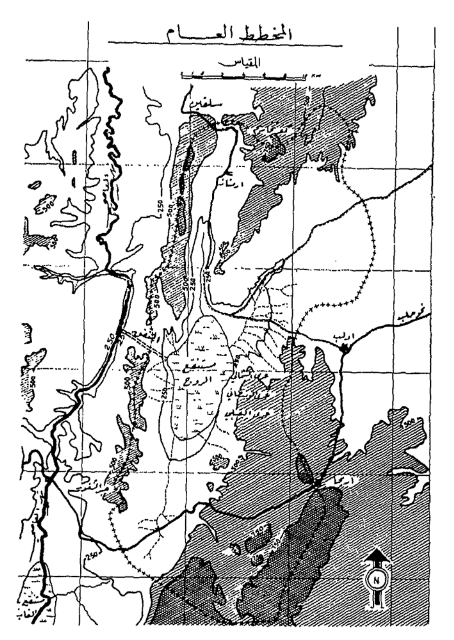


(شكل ٤٩) ـ دولين (إلى اليسار) واوفالا (إلى اليمين)

(شكل ٥٠) ـ آ : بولييه

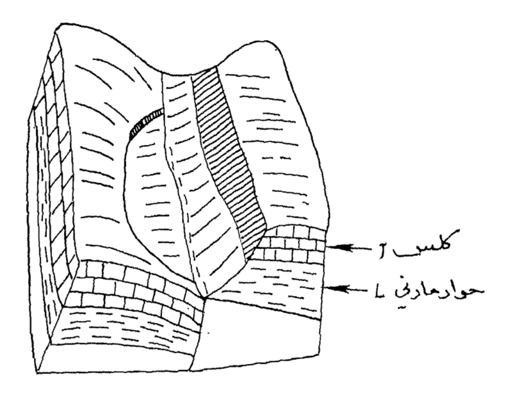
تمثل النقاط تربة الأرض الزراعية . ب: البالعة ، هـ : هوم ، ويشير السهمان إلى اتجاه جريان النهر وتدل الارقام على سمك الطبقة الكلسية .

٧ ـ **البولييه** poljé ـ تعني كلمة بولييه ، في اللغات السلافية ، السهل بكل معنى الكلمة ، غير أن الجيومورفولوجيين يخصصون هذا الاسم لسهل كارستي مغلق ، يتراوح عرضه بين بضع مئات الأمتار وبين بضعة كيلو مترات ، في حين يتراوح طوله بين عدة كيلو مترات وبضع عشرات الكيلو مترات ، والذي يتنافر من حيث انبساطه وأحيانا بزراعته الكثيفة مع الهضاب الكارستية المحجرة التي تطيف به (شكل ٥٠) ويمكننا أن نجد في سورية بعض البوليات ولعل أجمل نماذجها سهل الروج (شكل ٥١) بين جبل الزاوية وجبل الوسطاني وسهل سردين بين جبل باريشا والأعلا وسهل الزبداني في سلسلة لبنان الشرقية ، ولكن التحلل لعب هنا دوره بالتضافر مع التكتونيك في سبيل تشكل السهلين المذكورين ، أي هي بوليات تكتونية كارستية، (شكل ٥٢)



(شكل ٥١) ـ بولييه حتية تكتونية : حفرة الروج ، غرب جبل الزاوية

هذا ويكون لحافات البولييه انحدار شديد في حين يكون قاعها المنبسط مفروشا بتربة التأكلس . وقد يخترق نهر ما أحيانا القاع المذكور ولكنه لا يستطيع الخروج منه إلا بشكل باطني بواسطة مغارة تدعى البالعة كما في



(شكل ٥٢) ـ نموذج عن بولييه تكتونية : بولييه مينده Minde في البلقان .

غربي سهل الروجّ، وتدعى بونور Ponor في يوغسلافيا ، والحفرة سهل سردين بالعة خاصة بها تقع في طرفها الشرقي قرب بلدة قرقنية .

هذا وقد تغص الصخور الكلسية بالماء في أعقاب الأمطار المتطاولة بحيث تتوقف البالعة عن امتصاص الماء ، وعندها يتعرض قاع البولييه للفيضان الموقت مثل حوض مغسلة لم يعد « سيفونها » يصرف الماء إلا نقطة فنقطة . وعندئذ تتصرف البالعة بصورة مقلوبة وكأنها نبع فوار .

كما يكون قاع البوليه أحيانا حاويا على تلاع صخرية تدعى هوم hums وتكثر في المناطق الكارستية في الأقطار الحارة الرطبة كما في جنوبي الصين وكوبا .

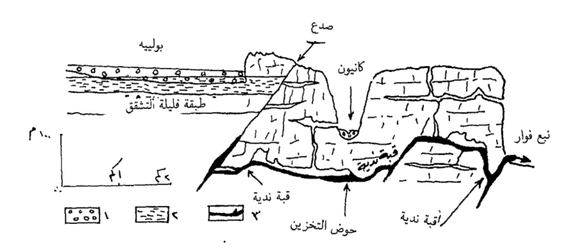
أما أصل البوليات فهو على غاية من التعقيد ويجب الرجوع إلى المطولات في الجيومورفولوجيا للتوسع في ذلك .

٨) **الأودية الصغيرة الجافة** - لا تحوي الهضاب الكارستية على منخفضات مغلقة كالدولينات والأوفالات والبوليات فحسب بل تحتوي أيضا على شبكات من أودية صغيرة تؤدي إما إلى خانق (كانيون) أو إلى بوليه وتكون هذه الأودية غالبا محرومة من المياه الجارية . ولا نجد فيها الماء الجاري إلا بعد زخات المطر السخية ، أي الوابل أو الديم . هذه الأودية الجافة التي رأينا أنها قد تتشكل في الصخور الحوارية ، يمكن تفسيرها بنسبة أمطار أعلى بكثير خلال الفترات المطيرة الرباعية إذ كان الجريان حينذاك أكثر استمرارا من العصر الحالي بل ربما كان شبه دائم .

ب : **جريان الماء ضمن الكارست** : يتم جريان الماء الداخلي في منطقة كلسية (شكل ٥٣) بين **نقاط الامتصاص** التي لا تحصى والمؤلفة من الشقوق والآفينات والبالعات حيث تغيض مياه الأنهار السطحية وبين **العيون الفوكلوزية** résurgences مثل عين الفيجة ونبع الهرمل وعيون عرّي على حافة سهل الروج وعين اشتبرق جنوبي جسر الشغور وعين الدباغة في دركوش ونبع بردى ، وقد أمكن التعرف على بعض المجاري الباطنية بتجارب تلوين الماء[١٩] . بيد أن بعض مجاري الماء تختفي دون أن يفلح العلماء مطلقا في التعرف على نقاط ظهورها مجددا للسطح ، أي كما لو كانت المياه تضيع في غشاء مائي عميق أو في قاع البحر ، كما في العيون العذبة التي تظهر قرب

---

(١٩) في قرب زحلة يقع فوار عين الداره المتشكل في الصخور الكلسية الجوارسية على ارتفاع ١٦٠٢ م . وأثبتت تجربتا تلوين المياه بمادة الفيلورسين أن هذا النهر الباطني يغذي عين فوار انطلياس الذي يبعد عنه بمسافة ١٨ كم ويقع قريبا من ساحل البحر وينخفض عن مستوى قاع فوار عين الدارة بحوالي ١٥٤٠ م .



(شكل ٥٣) ـ مثال عن جريان كارستي

لايكون الغشاء البئري الواضح على اليسار شاملاً ، فعلى اليمين يتم جريان الماء بواسطة الآبار والأروقة والنهر الباطني ، لاحظ وجود أروقة مهجورة . ويقوم الصدع بسطم مرور الماء في قسم من مستواه (في الأعلى) في حين يكون على العكس موائماً لاقتناص الماء في قسم آخر (في الأسفل)

١ ـ لحقيات وتربة التأكلس . ٢ ـ الغشاء البئري . ٣ ـ نهر باطني

ساحل البحر الأبيض المتوسط بجوار صيدا، أو في الخليج العربي قرب جزيرة البحرين .

هذا ويكون مجرى الماء السفلي بين نقطة الامتصاص ونقطة الخروج مستقلا عن مجرى الأنهار السطحية القديمة أو المعاصرة ، وهكذا لا توجد أنهار باطنية تحت الخوانق الكارستية .

ويتألف المجرى الباطني من آبار ومن أنفاق وأروقة . ويجري الماء ضمن هذه الأروقة إما على شكل جريان حر بواسطة الجاذبية أو تحت ضغط . وتتبع الآبار والأنفاق النقاط الضعيفة من الكتلة الصخرية مثل مستويات الارتصاف الطبقي والفصمات الخ . ويكون شكل مرتسم هذا المجرى معقداً دوماً .

وليس هناك على العموم اتصال بين رواقين أو سردابين متجاورين ، إذ

قد يكون أحدهما جافا بينما يكون الآخر مشغولا بالماء . إذن ليس هناك في كتل الكارست غشاء مائي بئري مستمر لهذا يكون البحث عن المياه الباطنية في المناطق الكارستيه عسيراً جداً وخاضعاً للصدفة .

وعند الاقتضاء يمكننا الكلام عن غشاء مائي مستمر في اللحقيات التي تفرش قاع بعض البوليات وفي بعض أنواع الصخر الكلسي المسامي والقليل التشقق ، ولكن على العموم لا يمكن القول بأن هناك مستوى أساس دالي يتم بموجبه جذب المياه السطحية .

غير أنه من الممكن ذكر قواعد عامة تصح بالنسبة لتطور المناطق الكارستية . فإذا كان الصخر الكلسي يرقد فوق طبقة كتيمة ، كالمارن مثلا ، تتكشف فوق سوية الأودية الكبرى فإن ينابيع تظهر عند تماس الصخر الكلسي العلوي مع المارن السفلي . وتتراجع هذه الينابيع بفعل الحت المتراجع (شكل ٤٦) فتشكل دخلات . وهكذا تتعرض الهضاب ، وفي كثير من الأحيان ، إلى الانكماش ابتداء من دخلاتها الهامشية ، مثل هضبة لارزاك في أواسط فرنسا بفعل دخلة ليرغ Lergue شمال بلدة لوديف Lodève .

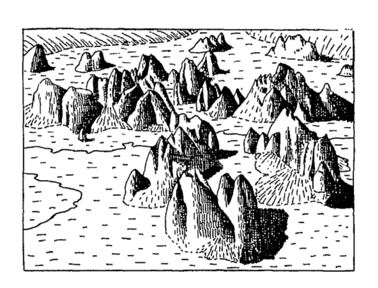
هذا كما يحدث الحت أيضا في العمق بفعل التحلل الداخلي . فعلى السطح يكون السيلان معدوما فعلا وكذلك ظاهرة الزحف ، وبالتالي فإن المنحدرات الشديدة لا تتلطّف أبدا ، ولهذا يقال بأنها تتمتع بالمناعة ، وعلى هذا تستطيع الجروف الكبرى ، مثل خواصر الهومات (جمعُ هوم) وحواف البوليات ، أن تظل قائمة لمدة طويلة . بيد أن أغشية ماء الفيضان في البوليات تهاجم حواف البوليات المذكورة بواسطة التحلل . وإذا استمر الحت خلال فترة طويلة جدا فإن التطور يقود البوليات إلى التلاحم مع بعضها البعض وتتحول الهضبة ذاتها

إلى سهل تنبثق من فوقه بضع هومات . وعندئذ يقوم جريان مائي عام فوق أراضي قيعان البوليات ويختم التطور الكارستي .

وإذا ما نهضت المنطقة فإن مجاري الماء تتعمق وتغوص في محلها على شكل خوانق (كانيون) ، أما إذا لم يكن لديها ما يكفي من الماء للاحتفاظ بنهر سطحي فإنها ستختفي بالأعماق ، وقد نرى حالات من **الأسر الذاتي** autocapture : فبينما يتعمق مجرى النهر ابتداء من السافلة ، ويخلق خانقا بفعل الحت المتراجع ، قد يتشكل رواق باطني في نفس الوقت ويجر مياه قطاع النهر الواقع في العالية كي يقودها مباشرة نحو قاع الخانق . هذا ما حدث عند مغارة براماييو Bramabiau في محافظة غارد الفرنسية حيث يتلاشى نهير بونور Bonheur القادم من منطقة سيفين المتبلورة في مغارة كي يظهر فيما بعد على شكل نبع فوكلوزي في قاع خانق يقع في السافلة . إذن يمكن الكلام عن تصابي الكارست . فهضاب الماسيف سنترال الفرنسية الكلسية Causses تعرضت في نهاية الدور الثالث إلى النهوض وإلى التصابي وتحول جريان الماء السطحي فيها إلى جريان باطني في الأعماق .

ولا ينطبق خط تقسيم المياه الطبغرافي في المناطق الكارستيه على خط المياه الضمني بسبب وجود ظاهرة الأسر الباطني فنلاحظ أن أكثر الينابيع غزارة في جبل العلويين وجبل الزاوية هي التي تظهر في أطراف سهل الغاب مع أن خطوط تقسيم المياه القريبة جداً لاتسمح لوحدها بتفسير غزارة هذه الينابيع القوية .

تنوع الكارست باختلاف المناخ : ما دامت ظاهرة الكارست لا تتكيف إلا عن طريق التحلل فمن المتوقع والمنتظر أن يعمل الحت فيها تحت مناخ رطب أكثر مما يعمل تحت مناخ جاف . أما تأثير الحرارة فهو



(شكل ٥٤) كارست مداري ذو أبراج في الصين الجنوبية
قاع بولييه وهومات على شكل أبراج . نقلاً عن صورة هـ . فون فيسمان .

موضع نقاش وأخذ وردّ ، لأن الماء البارد ، وذلك على خلاف ما يتبادر للذهن ، يستطيع أن يحل من الغاز الفحمي أكثر مما يحل الماء الساخن ، غير أن الماء الساخن يتفوق على الماء البارد في إذابة الكلسيوم ، بحيث يعوض هذا دور ذاك وأن الآراء لا تزال متباينة بالنسبة لنجاعة دور الحرارة .

غير أنه يبدو أن أكثر أشكال الكارست نموذجية هي تلك التي نجدها في مناطق ما بين المدارين (شكل ٤٠) فهناك تكون الميول الشديدة أكثر حدة بكثير من تلك التي نراها في المناطق المعتدلة ، كما تشبه الهومات التي تهيمن على قاع البوليات الأبراج ، وهكذا يصف المورفولوجيون الكارست ذا الأبراج أو الكارست ذا الأعمدة pitons كما في كوبا وشمالي فيتنام الخ ، وهناك نجد أجمل نماذج البولييه الحتية .

وعلى كل يتميز التضريس الكارستي أكثر من غيره من التضاريس الأخرى ، يتميز بشدة المفارقات بين الهضاب اوبين السفوح التي تحددها ـ سفوح الخوانق ، حواف البوليات ـ والقيعان التي تتكدس فيها التربة كقيعان

الدولينات والبوليات ، ولهذا تكون الأشكال فيها ذات أصالة فريدة حقا ، حتى أن بعض العلماء تكلموا عن مورفولوجية كارستية متميزة حتى الإفراط مثلما تكون الهضاب الكارستية العارية من النبات ذات مظهر قمري فدعيت بالصحاري الكارستية رغم كثرة أمطارها لانعدام التربة وندرة المياه وتسمى الجرود في لبنان ، وفوق السفوح الغربية العليا من جبل العلويين .

الفصل الرابع
الصخور المتبلورة

مقدمة : سبق لنا ورأينا أن الصخور الاندفاعية العميقة (البلوتونية) نموذجها : الغرانيت ، والصخور البلورية المتورقة ونموذجها : الغنايس تصنف ضمن زمرة الصخور المتبلورة ، حتى أنها تنفصل بشكل صريح عن الصخور الاندفاعية التدفقية (نموذجها البازلت) أي تتايز عن الصخور البركانية. وفي الحقيقة فإن الصخور التي نصنفها سوية لها صفات مورفولوجية متقاربة كمقاومتها الجيدة لعوامل الحت وكتامتها ، أي عدم نفاذيتها للماء . وعلى العكس فإن البراكين تقدم لنا تضاريس متفردة بكل معنى الكلمة لذا سندرسها في فصل آخر .

أولا : الصخور المتبلورة البلوتونية :

لقد تشكلت الصخور البلوتونية في أعماق الأرض تحت ضغط قوي وحرارة شديدة . ولا يجوز أن نطلق عليها عبارة صخور مغماتية التي تعني أنها تشكلت في حالة عجينية ، على شكل « مهل » أي ماغما . ومن المتفق عليه اليوم أن هذه الصخور تنجم عن تحولات غامضة . فبعض العلماء لا يميزونها بسبب ذلك عن الصخور المتبلورة التورقية التي سندرسها بعد قليل . مثلما لا يجوز لنا أن نسميها صخورا اندفاعية قديمة . وفي الحقيقة هناك الكثير من هذه الصخور يعود لأزمنة قديمة ولكن هناك صخور متبلورة بلوتونية حديثة ، فالصخور الغرانيتية التي تتكشف في منطقة البحيرات الإيطالية الواقعة عند أقدام جبال الألب ، تعتبر معاصرة للسلسلة الجبلية الثلاثية أي لجبال الألب أي تعود لبضعة عشرات من ملايين السنين في حين أن غرانيت الطائف قرب مكة المكرمة يعود لعدة مليارات من السنين . ولهذا يجب علينا أن نتحاشى القول

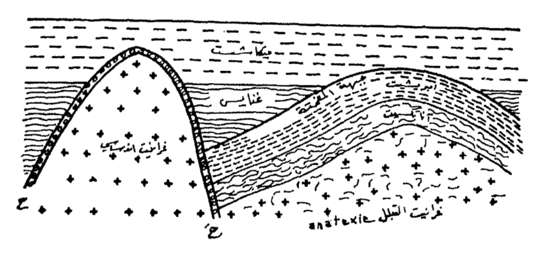
بأنها صخور غابرة archéennes ، لأن هذه الصفة استعملت في الماضي للدلالة على أن هذ الصخور كانت تؤلف جزءا من القشرة البدائية للأرض . ومن المعروف اليوم أن هذا غير صحيح وأنها تشكلت في وقت متأخر جداً عن القشرة البدائية ، وتحت أعماق القشرة المذكورة .

هذا وتتكون الصخور البلوتونية من بلورات ، فهي **متبلورة كليا** ، على خلاف الصخور البركانية التي لا تكون متبلورة إلا بصورة جزئية . كما أن بلوراتها تكون ذات مقاييس منتظمة أو غير منتظمة . فقد تكون البلورات صغيرة فيقال أن للصخر بنية غرانوليتية كصخر الغرانوليت أو آبليت ، أو تكون البلورات متوسطة ، فيقال أن الصخر غرانيتي أي له بنية أكثر أنواع الصخور الغرانيتية .

كما وتختلف الصخور البلوتونية فيما بينها حسب **طبيعتها الكيماوية** والتي تظهر بوجود هذا الفلز أو ذاك في تركيبها المميز . وعليه فإن الغرانيت يحتوي على قرابة ٧٥ ٪ من السيليس في حين أن السيليس هذا لا يشكل أكثر من ٤٥ ٪ من صخر الغابرو . ولهذا يقال أن الغرانيت صخر حامض بينما الغابرو صخر أساسي basique . وأهم بلورات الغرانيت هي الكوارتز ، الذي هو عبارة عن سيليس نقي ، والفلدسبات ، وهي سيليكات الألومين ، والميكا السوداء ، التي تدعى أيضا بيوتيت ، وتتألف من سيليكات الألومين والمغنزيوم والحديد .

ويتجلى الصخر البلوتوني استنادا إلى أسلوب مكمنه الأرضي حسب طريقتين :

١ ـ على شكل **عرق** filon أي على شكل قالب داخلي رقيق ، يتخذ



(شكل ٥٥) ـ مخطط يبين علاقات مختلف « النطاقات » المتبلورة التورقية مع الصخور البلوتونية . ح حَ : هالة استحالة التماس (القرنية) .

صورة جدار يبدو وكأنه صعد من الأعماق واندس ضمن صخور أخرى وتكثر العروق الكوارتزية في سروات الحجاز وعسير .

٢ ـ على شكل **باطوليت** batholite ، أي على شكل كتلة كبيرة لا يقل عرضها كثيرا عن طولها . وقد يتمثل الباطوليت إما على شكل **اندساس** intrusion أي احتل مكانه على حساب صخور أخرى مع حدود واضحة تقطع انكشافات الصخور المجاورة ، أو يتم الانتقال تدريجيا من الصخر البلوتوني إلى صخور استحالية دون أن يكون من المستطاع تحديد التخم الصحيح لمكان استقرار الصخر البلوتوني فيقال عندئذ إنه صخر بلوتوني **تبلّلي** anatexie أي أن الغرانيت يبدو وكأنه يبلل الصخور التي استقر في وسطها .

ثانيا ـ الصخور المتبلورة المتورقة أو التورقية cristallophylliennes

تطلق صفة المتبلورة المتورقة على صخور تعرضت لتحول طرأ عليها يدعى **استحالة** مهما كانت طبيعتها الأصلية (شكل ٥٥) هذا التحول هو نتيجة

السخونة والضغط ، ويقوم هذا التحول على تبلور جديد يتم حسب اتجاه معين بحيث تكون بلورات الصخور الاستحالية موجهة . ونميز ثلاثة نماذج من الاستحالة :

الاستحالة بالتماس وذلك بجوار كتلة اندفاعية اندساسية . وتدعى الصخور المتولدة عن ذلك بالصخور **القرنية** cornéennes . وعلى العموم لا تصيب هذه الاستحالة سوى نطاق ضيق لا يزيد غالبا عن بضع مئات الأمتار . وهكذا نجم عن اندساس غرانيت منطقة مارجريد في صخور الميكاشيست ، قرب مقرن نهر لوت بنهر ترويار في الماسيف سنترال الفرنسية ، نشوء هالة استحالية لا يتجاوز عرضها ثلاثة كيلو مترات .

الاستحالة الآلية Dynamométamorphisme وتنجم عن القوى التكتونية على طول الصدوع وهي بدورها لا تصيب أيضاً سوى نطاق ضيق على طول الخط الخاضع للتوتر أو للسحق ، مثال ذلك استحالة نطاق الصخور المهشمة في آرجنتا والتي يمكن متابعتها ابتداء من بلدة آرجنتا على نهر دوردوني من الجنوب حتى جوار بلدة غيريه Guéret في الشمال (أواسط فرنسا) . ويطلق على الصخور المتحولة بواسطة الاستحالة الآلية اسم **ميلونيت mylonites** .

الاستحالة العامة أو الإقليمية وهي الاستحالة التي تتم في الأعماق وفي آن واحد ابتداء من كتلة الصخر البلوتوني وحسب السخونة الداخلية . وتصيب الاستحالة العامة مساحات أكبر بكثير من نطاقات الاستحالة الآلية والاستحالة بالتماس .

ثالثاً ـ التجاور المكاني بين الصخور البلوتونية والصخور المتبلورة التورقية :

لقد أخذنا الآن ندرك كيفية ظهور مجموعات الصخور المتبلورة على

الأرض : فباطوليت اندساسي ومحاط بهالة استحالية ضيقة ، يبدو وكأنه قد احتل مكانه على شكل دخيل كما تدل على ذلك صفته ، وعلى العكس عندما نكون تجاه غرانيت التبلل Anatexie فإننا نجد تدرجاً في الصخور الاستحالية مرتصفاً بانتظام (شكل ٥٥) . وتنقسم هذه الهالات بوضوح إلى مجموعتين صخريتين .

١ ـ **الميغماتيت** أي الصخور الناجمة عن اختلاط ، وعن إغناء الصخر الأصلي بتبلل انطلاقاً من غرانيت التبلّل . وقد اشتقت الكلمة من اللغة الإغريقية Migma أي خليط .

وتنقسم صخور الميغماتيت إلى قسمين : نطاق داخلي وهو الأقرب من الغرانيت ، وهو نطاق **الآناتكسيت** **Anatexites** وتكون له بنية غامضة ، ويكون النطاق العلوي على العكس هو نطاق **الامبريشيت** **embréchites** وهو غنايس محقون بالغرانيت سافاً فساف ، ولهذا يكون مظهره متورقاً بشكل يلفت النظر .

٢ ـ **الاكتينيت** وهي صخور أكثر بعداً عن غرانيت التبلل ، وهي لم تخضع لإغناء محسوس بل إلى تبلور فقط ، ناتج عن السخونة وعن الشد (ويعني فعل Ectinein الإغريقي ، الشد) دون تحول طارىء على التركيب الكيماوي .

وتطلق عبارة **جبهة المغمتة** **Migmatisation** على حد نطاق صخور الميغماتيت من طرف صخور الاكتينيت . وتصعد هذه الجبهة نوعاً ما إلى الأعلى في داخل نطاق زمرة صخور الاكتينيت . وإذا صعدت الجبهة بصورة شاذة فهذا مايؤدي إلى تلاشي كل النهايات السفلى في هذه الزمرة ، وفي الحالة المعاكسة تكون زمرة صخور الاكتينيت كاملة .

رابعاً ـ الملامح العامة لتقاطيع التضريس في الصخور المتبلورة :

إن كل الصخور المتبلورة **كتيمة** ولكن بعض الترب التي تنجم عنها تسمح بتسرب الماء . تلك هي حالة الآرينات Arénes الغرانيتية[٢٠] . وتفسر هذه النفوذية في الترب كيف أن بعض رؤوس الأودية تكون محرومة من مجاري الماء ولكن ، على العكس ، لا يتأخر النهر في السافلة عن الجريان ، لأن العيون تكون بالواقع عديدة ولكنها هزيلة غالباً ، على خلاف الينابيع الفوكلوزية التي تتميز بها المناطق الكلسية . وينتج عن ذلك أن تكون الأودية متقاربة تؤدي فيما بينها لنشوء **عراقيب وأصلاب échines** متفاوتة في ارتفاعها باختلاف تعمق خطوط القاع مع بروز نتوءات مدورة تدعى « الجنادل » في نجد الوسطى قرب بلدة الرس . هذه الطبوغرافية هي التي تميز المناطق المتبلورة وتهيمن على كل توزع الترب الصالحة للحراثة وعلى قيام المساكن البشرية .

وتكون العراقيب على العموم محدبة لأن الأنقاض المتبلورة تكون عرضة لظاهرة الزحف التي تتفوق على السيلان المتمركز . ولكن من وجهة النظر إلى التفاصيل نجد أشكالاً ذات أصالة تضرّس السفوح أحياناً .

هذا وقد نجد في القمة **أعرافاً مسننة** ناجمة على العموم عن صخور غرانوليتية (أو أبليتية) تكون أحياناً عبارة عن عروق أبرزها الحت .

وهناك قمم أخرى تتخذ أشكال **قباب ملساء** ، صخرية ، تكثر خاصة في أقطار ما بين المدارين والتي تمثل انكشافات من صخور أكثر قساوة من

---

(٢٠) الآرينات الغرانيتية : هي الرمال الكوارتزية ووريقات الميكا الناجمة عن تفسخ صخور الغرانيت محلياً والتي تفرش الأراضي المستوية في هذه المناطق فتسمى البطحاء مثلاً في مدينة الرس النجدية بالقصيم .

الصخور المجاورة . تلك هي قوالب السكر التي نجد أشهرها منتصباً كالديدبان في مدخل خليج ريودو جانيرو (نهر كانون الثاني) .

وفي مناطق أخرى نجد **الكرات الضخمة** **boules** ، وخاصة في صخور الغرانيت ذات الحباب المتوسطة الحجم . وقد تؤلف هذه الكرات أشكالاً فوضوية أو أكواماً مع صخرات متوازنة فوق بعضها البعض (كما في منطقة الطائف وفي منطقة سيدوبر في الماسيف سنترال الفرنسية) . وتتشكل هذه الكرات إما في الهواء الطلق ابتداء من الجلاميد المتوازية السطوح التي حددتها شبكة الفصمات ، نظراً لأن الزوايا تكون مدورة تدريجياً ، وإما عن طريق تشكل مسبق داخلي ، ذلك أن بعض كرات الغرانيت الصلب تكون ، وهي في الأعماق ، محاطة بحراشف من غرانيت قابل للفساد . ولهذا الوضع أصل غير معروف تماماً . وعلى كل حال ندرك كيف يعمل الحت بسهولة على تفكك حراشف الغرانيت المتفسخ كي يكشف للعيان النوى المقاومة .

وتحت بعض المناخات ، كالجافة طيلة العام ، مثل مناخ الصحراء الكبرى والقارة القطبية الجنوبية ، أو جافة خلال شطر كبير من العام ، مثل جزيرة كورسيكا وسردينية ولا سيا في أواسط نجد وجبال عسير ، فإن الكرات الضخمة تكون محفرّة بتجاويف دائروية مجهولة الأصل تصل أبعاد بعضها إلى متر واحد ، وتدعى **تافوني** **taffoni** ويغلب على الظن أن هذه التجاويف كانت مشغولة بكتل صخرية اندفاعية أكثر قلوية وبالتالي كانت سريعة التفسخ بالمقارنة مع محيطها الصخري المتبلور .

وتتميز **تكتونية** الصخر المتبلور بأنها **صلدة** . فالصخور المتبلورة لا تلتوي إلا بتحقق شروط من الحرارة ومن الضغط لا تتوفر مطلقاً عندما تتكشف هذه الصخور قرب السطح أو عندما تكون مدفونة تحت غطاء قليل

السماكة . ومع هذا فهناك درجات لهذه « الصلادة » التي تكون أقل شدة في الصخور المتبلورة التورقية ، نظراً لإمكانات انزلاق مستويات البلورات فوق بعضها البعض ، مما هي عليه في الحال في الصخور البلوتونية . ولكن ، وبصورة عامة ، لا تلتوي الصخور المتبلورة أو لا تلتوي إلا على شكل نصف قطر دائرة كبيرة . أي على شكل تقببات أو تقعرات فسيحة . بيد أن هذه الصخور ، في مقابل ذلك ، يمكنها أن تتجزأ إلى **عديد من الكتل الجانحة** من كل المقاييس أو إلى **قمطرات pupitres** تهبط سويتها عن بعضها البعض بفعل الصدوع .

وهكذا تكون **الكسور fractures** من الملامح الكبرى التي تتصف بها المناطق المتبلورة ، وتتجلى على شكل **عقبات escarpements** مدورة نوعاً ما ، وأحياناً على شكل **أودية خط الكسر** ، أو **خط السحق** أو الجرش broyage وذلك لأن الأنهار تستقر فوق نطاقات المقاومة الضعيفة . ونعرف عن ذلك أمثلة بديعة جداً في البرتغال ، وربما يوجد منها أيضاً في منطقة الغابة السوداء (وادي الز) ، ويكون مرتسمها المستقيم ، كما لو كانت مستقلة عن الانحدار وعن كل تأثير ليتولوجي ، مشابهاً لضربة بلطة شقّت الجبل . وأودية خط الكسر تكون من الأشكال المميزة لمناطق الصخور البلوتونية ، ولكنها لا تكون معدومة في الصخور البلورية المتورقة .

خامساً ـ الاختلاف في تقاطيع مورفولوجية الصخور المتبلورة :

يتصرف كل صخر متبلور ذاته بصورة مختلفة باختلاف المناخ .

ففي البلاد المعتدلة الرطبة تحتفظ المناطق المتبلورة ، وذلك بصورة أمينة

جداً ، بشواهد عن أشباه السهول القديمة كما هو الحال في كتلة الماسيف سنترال أو جبال الفوج أو جبال الأبالاش الأميركية .

أما في **الأقطار الحارة** حيث يسود المناخ الرومي أو الصحراوي أو مناخ ما بين المدارين فإن الحت يعمل هنا بنشاط أكبر ، فحيثما لا تكون السهول القديمة مدرعة[٢١] فإنها تبدو مهدمة بسرعة ملحوظة كي تحل مكانها العراقيب أو تسطّحات aplanissements أحدث حسب مستوى الأنهار الحالية . وهكذا تظهر الكتل القديمة أحياناً مجوفة وأخفض من الحافة الرسوبية المجاورة كالصخور الكلسية في الأقطار الرومية المناخ أو صخور الخرسان في الأقطار المدارية[٢٢] .

وتظهر السهولة التي يعمل الحت فيها بتشكل السهول الكبرى الأفقية في بلاد السافانة والصحاري ، تلك السهول التي تدعى **البيد سهل pédiplaines**[٢٣] . وأحد أجود الأمثلة عن ذلك منطقة يطّي وهي عبارة عن سهل فسيح غرانيتي يقع في الصحراء الكبرى الغربية ، في شمالي موريتانيا أو السهل الذي يمتد على مسافة ٤٠٠ كم بين شرقي مكة والطائف وغربي جبل طويق في نجد .

بيد أن الاختلافات الكبرى في تضريس الصخور المتبلورة تتعلق خاصة بالطبيعة الخاصة بكل من هذه الصخور . وهنا تتدخل ثلاثة عوامل :

١ ـ **نفوذ الماء :** كلما كان الصخر المتبلور مسامياً ، أي حاوياً على

---

(٢١) انظر الفقرة الأخيرة من الفصل السادس .

(٢٢) انظر الفقرة الرابعة من الفصل الثامن .

(٢٣) البيد سهل عبارة عن تسوية نتجت عن انتشار البديمنتات المتجاورة والتي تسحج منطقة برمتها . أما البديمنت pediment فهو سطح حتي محلي ، مستو ، وذو ميل واضح يتراوح بين ١ إلى ٧ ٪ غالباً ويتشكل فوق صخور متكتلة ، مقاومة ، ولا سيا فوق الصخور المتبلورة كالغرانيت مثلاً .

فواصل كبيرة بين البلورات ، كلما كان سريع العطب لأن الماء ، في أعقاب المطر ، يتسلل ضمن الفراغات فيستطيع إفساد الفلزات minéraux .

٢ ـ **حجم الحبات :** تكون الصخور ذات الحبات الصغيرة (كالغرانوليت) هي الأكثر مقاومة وذلك لأسباب عسيرة التفسير .

٣ ـ **الطبيعة الكيماوية :** تتفسخ البلورات بصورة مختلفة جداً باختلاف طبيعتها الكيماوية . فالكوارتز والميكا البيضاء والفلدسبات البوتاسية تكون عسيرة التفسخ بينما نجد أن الميكا السوداء والفلدسبات الكلسية الصودية تفسد بسهولة أكبر .

ولا داعي للدهشة إذا رأينا أن بعض المناطق وقد جوّفها الحت في وسط مناطق متبلورة أخرى ظلت بارزة التضاريس كالسهل الواقع جنوب شرق الطائف . وعلى كل حال تكون دراسة اختلافات التضريس في داخل مجموعات إقليمية متبلورة مسألة دقيقة للغاية ، فعندما تصادف صخراً متبلوراً مؤلفاً تضريساً بارزاً فمن العسير معرفة ما إذا كان قد تحدّى الحت لأنه كان مقاوماً أو فيما إذا كانت حركات تكتونية قد رفعته إلى أعلى .

الفصل الخامس

الصخور البركانية
التضاريس البركانية

مقدمة : لقد درسنا في الفصول السابقة الصخور باعتبارها مواد بناء تضريسي matériaux . أما في حالة البراكين فمن العسير تمييز المواد عن وضعها ، أو بعبارة أخرى ، من الصعوبة بمكان دراسة الليتولوجيا دون التعرض للبنية . ولهذا سيكون لهذا الفصل اتجاه مزدوج .

أولاً ـ الصخور البركانية

على خلاف الصخور المتبلورة ، لا تكون الصخور البركانية كاملة التبلور . فبعد بداية تبرد في أعماق الأرض فإن مجرد وصول الصخور المذكورة إلى الطبقات الباردة من القشرة الأرضية يؤدي لتوقف عملية التبلور . ولهذا تكون الصخور البركانية إذن صخوراً **ذات تبلور مزدوج على مرحلتين .** كما تدعى الصخور البركانية صخوراً مجهرية microlithiques لأن العجينة التي تتشكل في أعقاب تبرد فجائي تتألف من بلورات مجهرية على شكل عصيات أي من ميكروليت microlites . أما البلورات التي يمكن رؤيتها بالعين المجردة phénocristaux فنادرة أو مفقودة ، حتى أن بعض الصخور البركانية لا تكون أكثر من « زجاج » . تلك هي حالة **الخبث scories** التي تقذفها البراكين ، أو

صخر **ابسديان** **obsidiennes**[٢٤] التي تؤلف مسكوبات والتي تشابه هشيماً من زجاج أسود .

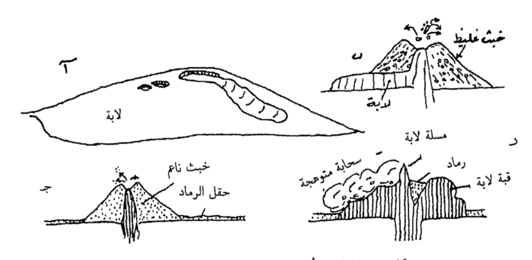
ويكون التركيب الكيماوي في الصخور البركانية وفي الصخور المتبلورة متماثلاً ، ولكن المنظر هو الذي يختلف . وهكذا يكون لصخر الغابرو ولصخر البازلت نفس التركيب ، ولكنهما يؤلفان مع ذلك تضاريس مختلفة كلياً .

ويمكن القول أن كل تركيب كيماوي في الصخور البركانية يقابله تضريس معين ، هو ذاته ناجم عن طريقة هيجان خاصة . ولكي نظل ضمن الخطوط الكبرى نستطيع القول بأنه كلما كانت المقذوفات حامضة كلما كانت البراكين انفجارية ، وفي نفس الوقت كلما كانت هذه المقذوفات الصخرية حامضة كلما كانت فاتحة اللون مما يستدعي التوصل إلى مقارنة تقريبية جداً بين الصخور الفاتحة اللون وبين أشكال انفجارية معينة ، وبين الصخور القاتمة وبين أشكال الجريان الهادئة .

ولكن بالنسبة لتركيب كيماوي معين فإن المواد الصخرية تظهر بطريقة متباينة وذلك فيما إذا كانت قد انساحت على شكل مسكوبة سائلة أو فيما إذا كانت قد انقذفت على شكل صلب . فإذا كانت صلبة نكون أمام **مقذوفات أو مواد بيروكلاستيكية** . أما في حالة اللابة المائعة ، فنكون تجاه مواد تدفّقية effusifs أو **لابة** بكل معنى الكلمة .

وسندرس كل هذه المواد المختلفة مع نماذج الفاعلية البركانية أو النشاط البركاني .

(٢٤) صخر يشبه الزجاج في خواصه ويشبه الغرانيت كيميائياً .



(شكل ٥٦) ـ النماذج الأربعة للهيجان البركاني

آ ـ نموذج هاوائي ، ب ـ نموذج سترومبولي ، جـ ـ نموذج فولكاني ، د ـ نموذج بيلي .

ثانياً ـ النماذج التقليدية الأربعة للفاعلية البركانية

لقد ميز عالم المعادن لاكروا أربعة نماذج من النشاط البركاني ٦ ولا يعني هذا أربعة نماذج من البراكين لأن نفس النموذج من الفاعلية قد يعطي تمازجات مختلفة وإن بعض البراكين البسيطة تتباين مع البراكين المعقدة ، كما سنرى ذلك .

ومن ناحية مبدئية ، وانتقالاً من النموذج الأول إلى الرابع ، تأخذ حرارة وميوعة اللابة بالتناقص ، كما أن طبيعة الصخور المندفعة تصبح أكثر حموضة ، كما تصبح الانفجارات أكثر عنفاً ، مثلما تتفوق نسبة المواد الصلبة المقذوفة تدريجياً على نسبة المواد السائلة (شكل ٥٦) .

النموذج الأول : النموذج الهاوائي : يتميز النموذج الهاوائي بانسكابات لابية مائعة جداً ، في حين تكون بقية التظاهرات ، من انفجارات ومقذوفات تشكل مخروط الخبث ، نادرة جداً . ويظل الهيجان مستمراً بمعنى أن الفوهة (الكراتير) تكون عبارة عن بحيرة تظل اللابة تغلي فيها خلال سنوات كاملة

ويندفق منها اللابة من وقت لآخر بواسطة الطفح . وأكمل النماذج وافضلها دراسة تتمثل في براكين جزر هاوائي ، كبركان مونا لوءا Mauna - Loa الذي يزيد ارتفاعه عن ٤١٠٠ م أو بركان كيلوءا Kilauea (١٢٣٥ م) غير أن فوهاتها تكون مع ذلك فارغة . وتنتسب أكثرية تدفقات براكين ايسلندا وبراكين نياملاجيرا Nyamlagira ونيرا غونغو ، وهي بحيرة فوارة حالية ، في كيفو Kivu (أفريقيا الوسطى) تنتسب جميعاً إلى هذا النموذج وكذلك معظم براكين جبل العرب والجولان واللجاة في سورية والحرات بين المدينتين المقدستين مكة والمدينة .

النموذج الثاني : النموذج السترومبولي : ويكون طراز النشاط السترومبولي ، المأخوذ إسماً من بركان سترومبولي ، وهو إحدى جزر ليباري الواقعة في شمال صقلية ، مستمراً بدوره أيضاً : فالفوهة تشتمل على لابة مائعة ، ولكن البركان يقذف ، من وقت لآخر ، عموداً من الغاز والحجارة . ولا تشكل هذه الانفجارات عادة أي خطر لأن المقذوفات تتساقط في الفوهة ذاتها ، غير أن الانفجارات المذكورة كثيرة التكرار (ما بين ٦ إلى ٨ في كل ساعة) وتكون رائعة المنظر بشكل خاص خلال الليل . وفي خارج الفوهة تنزلق المقذوفات فوق منحدر المهيلات كما في بركان سترومبولي . أما في فترات احتداد الهيجان فإن اللابة قد تنسكب للخارج على شكل دفقات .

وتكون المواد التي يقذفها الهيجان السترومبولي إذن مؤلفة من لابات أو من خبث scories والطراز الأخير أي بركان الخبث الحصوي يتمثل في بركان تل الشيحان الواقع على يمين طريق دمشق السويداء قرب شهبا .

النموذج الثالث : النموذج الفولكاني : يستمد النموذج الفولكاني اسمه من بركان فولكانو الواقع في جزر ليباري الجنوبية . واللابة ، التي تكون عادة

أقل ميوعة من النموذجين السابقين ، تتصلب بسرعة شديدة ولهذا تنسد مدخنة البركان بين كل هيجان وآخر ويقتصر النشاط عندئذ على بضعة انبثاقات جانبية من أبخرة كبريتية . غير أن الحدة الهيجانية تكون على العكس عنيفة جداً : إذ تسحن اللابة على شكل **رماد** أو تنقذف على شكل **خفان** وهي لابة تبدو على شكل رغوة ، بحيث لا تمثل المواد الخشنة سوى نسبة ضئيلة من المواد المقذوفة . ويكون الثوران مصحوباً بظهور كرة هائلة من الدخان تهبط وكأنها مظلة شبيهة بالانفجار الذري .

هذا وتكون المسكوبات الفولكانية نادرة وقليلة الاتساع : فهي تتصلب بسرعة كبيرة حتى فوق المنحدرات القوية ، وتتألف من لابات قليلة الميوعة ، كصخور الريوليت .

النموذج الرابع : النموذج البيلي : لقد اتخذ جبل پيليه Pelée في جزر المارتينيك ، الذي حصل على شهرة بائسة بثورانه في عام ١٩٠٢ ، اتخذ كمثال للنموذج الرابع . واللابة وإن كانت صادرة مع درجة حرارة شديدة فهي لزجة جداً ، كصخر الريوليت والدوميت والداسيت . غير أن الثورانات تنفصل عن بعضها بفترات زمنية طويلة . ويبدأ الثوران بمرحلة تمهيدية متميزة بانبعاث دخان ورماد ، ثم يحدث انفجار رهيب تنطلق في أثره كرة دخانية مماثلة لتلك التي يطلقها الثوران الفولكاني . ولكن في الوقت نفسه تقذف القمة **سحابة متوهجة** ، أو تظهر من الشقوق الجانبية . وتكون هذه السحب قاتمة اللون مؤلفة من جلاميد ومن رماد مغلف ببخار الماء : ويظل كل جلمود منعزلاً لوحده دون أن يصطدم بالجلاميد المجاورة لأن بخار الماء المشحون بالرماد يشكل وسادة بين الجلاميد المذكورة . وتنهمر السحابة متدحرجة فوق السفح بسرعة تتراوح بين ١٠ و ١٥٠ م في الثانية تسبقها موجة

هوائية مماثلة « لنفخة » الانهيالات الثلجية ، والتي تماثلها في كثير من المشاهد . فهذه السحابة المتوهجة المنهالة تخرب كل شيء في طريقها ، إذ تطيح بالجدران وتحرق الأشجار . وقد تهدمت مدينة سان بيير في المارتينيك عام ١٩٠٢ بفعل سحابة متوهجة ، وقد نتج عن هذه الكارثة هلاك سكان المدينة باستثناء سجين حمته جدران زنزانته السميكة .

وبعدئذ يتشكل **تورم** أو انتفاخ من لابة عجينية قد تشكل قبة أو تتحول إلى مسلة تنتصب عمودية فوق المدخنة . وتتداعى المسلة عند تصلبها وتنهال على شكل كسرات ضخمة .

هذا وقد تغير معظم البراكين المعقدة طراز ثورانها مع الزمن . فقد تنتقل من أكثر النماذج ميوعة إلى أكثرها انفجارات . غير أن طريقة النشاط الأكثر حدوثاً هي التأرجح بين نموذجين متقاربين . وهكذا تنشأ القباب البيلية على العموم فوق البراكين الفولكانية . إذن يكون التمييز الكبير القائم هو بين البراكين السائلة ، أي هاوائية وسترومبولية ، وبين البراكين الانفجارية ، أي فولكانية وبيلية .

وتتمخض نماذج النشاط هذه عن تضاريس بدائية سندرسها قبل أن نرى كيف تتعقد الأشكال البركانية .

ثالثاً : التضاريس البركانية البدائية .

نذكر فيما يلي التضاريس البدائية التي تشيدها البراكين :

١ ـ **المخروط البركاني البسيط** : المخروط البركاني البسيط هو تكدس من خبث ، أي مواد مقذوفة من مدخنة البركان لمسافة قصيرة . ويتشكل المخروط من ثوران قصير يمتد على بضعة أيام أو بضعة أشهر على الأكثر ، كما



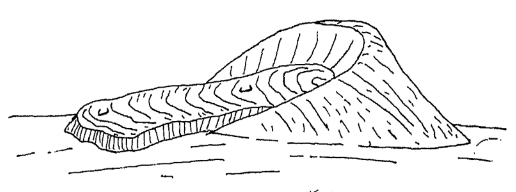
« بعض المواد المقذوفة » آ ـ رماد ، ب ـ لابيلي ، جـ ـ قنبلة .
(شكل ٥٧)

حدث ذلك بالنسبة لبركان باريكوتان ، الذي انبثق في عام ١٩٤٣ إلى الغرب من العاصمة مكسيكو .

وتختلف طبيعة المواد المقذوفة حسب نموذج الثوران : فتتغلب نسبة الرماد الدقيق وحجر الخفان في النموذج الفولكاني ، مثلما تتفوق المقذوفات الخشنة في النموذج السترومبولي . ونميز استناداً إلى حجم المواد **الرماد** الذي لا يزيد قطر حباته عن ميلمتر واحد ، **والحصى lapilli** ، وهي حجارة صغيرة فقاعية يتراوح قطرها بين ١ مم إلى ١٠ سم ، **والجلاميد** التي تزيد أقطارها عن ١٠ سم .

وعندما تتخذ الجلاميد شكلاً خاصاً ناتجاً عن كونها انبرمت في الهواء خلال انقذافها ، فإنها تظهر على شكل لوزة بحجم جوزة الهند « النارجيل » مبرومة نوعاً ما من طرفيها ، تسمى عندئذ **قنابل** بركانية مغزلية الشكل مثل عضلة العضد .

وعندما تكون مقذوفات الخبث الصادرة عن البركان فقاعية بشكل يلفت



(شكل ٥٨) - بركان مشدوق

النظر ، وخفيفة بحيث تقل كثافتها أحياناً عن ١ ، تدعى حجر **الخفّان** **ponces** . وهناك حجر خفان من كل المقاييس . ولكنها تتشكل دوماً ، وعلى كل حال ، من صخور حامضة . هذا وتقع في قمة المخاريط **الفوهة أو الكراتير cratère**[١] وهي ناتجة عن نفخة الانفجار . وتكون منحدراتها الداخلية تارة عبارة عن حدور talus الجاذبية ، وتارة أخرى ، وذلك كما هي الحال السائدة أثناء احتدام الثوران ، عبارة عن جدران اقتلاع عمودية في كتلة أكداس الخبث .

وتكون المواد التي تلفظها الفوهة على العموم مقذوفة لمسافة لا تتجاوز كثيراً الأطراف الخارجية للفوهة ، ومن ثم تنهال بفعل الثقالة على خواصر البركان الذي يكون انحداره متطابقاً مع توازن حدور الجاذبية ويظل هذا الانحدار عموماً في حدود ٣٥ درجة .

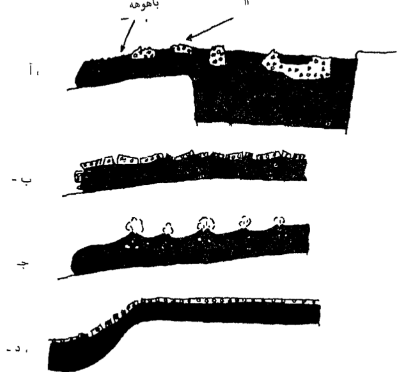
وهناك حالة فريدة في المخروط البسيط هي حالة المخروط **المشدوق** أو المشروم . ونجد أمثلة تقليدية عنها في مخاريط ديرة التلول شرقي دمشق أو في مجموعة براكين جبل الزاوية . فيكون المخروط مفتوحاً من طرف واحد بفعل

---

(١) ومنها جاءت تسمية حي الكراتر في مدينة عدن والذي يقع على طرف فوهة بركان مشدوق وغزته مياه البحر فأصبح خليجاً مستديراً وميناءً ممتازاً .

توسع الفوهة . هذا ولا يجوز أن ننسب انعدام التناظر هذا إلى الانفجار ولا إلى انفتاح ثغرة ناجمة عن انسياب مسكوبة لابة شقت طريقها على حساب أضعف جزء في سور الفوهة ، بل إلى انسياب لابة بصورة مستمرة خلال الثوران بحيث لم يستطع الخبث أن يتوضع إلا على الأطراف التي لا تمر منها اللابة . إن انشرامات كهذه تفترض ثوراناً قصيراً مع نشاط من طراز سترومبولي وانطلاق لابات غزيرة ومائعة .

٢ ـ **ميدان الخبث** : تبدو ميادين الخبث كتضاريس أكثر غموضاً بكثير من المخاريط ، فتظهر وكأنها تذرية أو نثير فوق تضاريس موجودة سابقاً ، فتخفف من حدة هذه الاشكال ، ولا سيما إذا كانت هذه الميادين مؤلفة من خبث خشن . ولكن أوسع الميادين هي تلك التي تتشكل من رماد ناعم يتلقفها

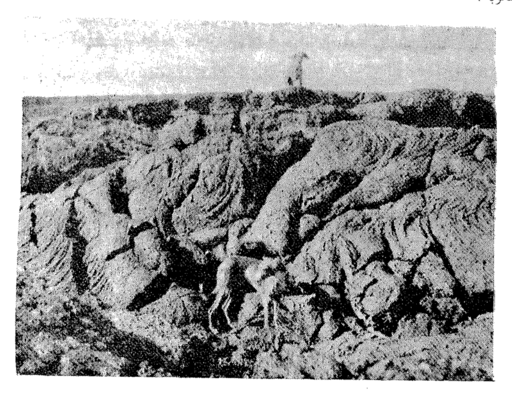


(شكل ٥٩) ـ اللابة الخشنة السطح وأصولها الأربعة ا ـ جلاميد ما فوق المهل . ب ـ قشرة سميكة متشكلة أثناء التصلب .

جـ ـ انفجارات غازية فوق المسكوبة . د ـ قشرة محطمة بفعل التسارع .



صورة رقم ١٠ ـ حرة الصفا في شرقي جبل العرب (الدروز) ويظهر فيها كيفية تفكك البازلت بعنف فوق سطح المسكوبة .



صورة رقم ١١ ـ تفاصيل لابة حبلية .

الريح لينقلها لمسافات بعيدة . وهكذا يتشكل سهل كامبانيا الإيطالي من توضعات بركانية . وقد يترسب الرماد في بحيرة ويصبح متآخذاً متراصاً ويشكل ما يدعى **بالسينيريت** .

٣ ـ **مسكوبة اللابة** : يتألف المسكوبة من لابة سائلة تنزل ابتداء من نقطة صدورها فوق المنحدرات بفعل الجاذبية . وتتبرد أثناء هذا النزول ، فيتباطأ جريانها إلى أن تتوقف تماماً . وتكون اللابة بجوار نقطة صدورها سريعة الجريان وضيقة ، ولكن مع نزولها تتناقص سرعتها حتى بضعة أمتار في الساعة ويزداد عرضها فيبلغ بضع مئات الأمتار . أما سطح المسكوبة فقد يظهر على ثلاثة أشكال مختلفة هي : **الباهوهه و الآآ aa والمستوي المنسجم** . فالتسميتان الأوليتان مأخوذتان من لغة جزر هاوائي المحلية . فالكلمة الأولى تعني مشهداً ناجماً عن تصلب قشرة رقيقة جداً تستمر اللابة تحتها في الجريان وتقوم بتجعيد تلك البشرة التي لا زالت مرنة . ويعطي المجموع انطباعاً عن جلد خشن لفيل ذي لحم مترهل . هذا وقد تلتف لابة الباهوهه على نفسها ، وكأنها شلة حبل ، وذلك أثناء تبردها ، فيقال لابة حبلية lave cordée ، وقد يتشكل أيضاً تورمات يتراوح عرضها بين ٣٠ إلى ٦٠ سم وتفسر بقدوم لابة بفعل الثقالة تحت القشرة السطحية الرقيقة . وعندئذ تمتط هذه القشرة وكأنها غشاء « بالون » أثناء النفخ ، ونجد أمثلة بديعة عنها في منطقة اللجاة جنوب شرق دمشق وفي منطقة اللتشة عند تخوم لواء اسكندرون ، أو في الحجاز حيث تسمى الحرات .

أما الآآ aa فهي ، على العكس ، عبارة عن فوضى من لابة خبثيّة scoriacée ، شبيهة بميدان رماد الفحم الحجري أو القصرمل[٢٤] . وقد يبلغ مدى

---

(٢٤) القصرمل : رماد خبثي نتيجة حرق الروث في قمامين الحمامات التقليدية في الشرق والذي يخلط مع =

خشونتها بضع عشرات السنتيمترات وقد يصل إلى بضعة أمتار ارتفاعاً . وتطلق كلمة شير cheire على مثل هذه الأشكال في مقاطعة أوفيرنييه Auvergne في أواسط فرنسا .

وقد تبدو المسكوبة مستوية منسجمة تماماً ، ولكن ذلك في حالات نادرة . فالمسكوبات المنسجمة تكون ناتجة أحياناً عن حت أصاب سطحها فاجتث الأشكال الخشنة البدائية .

هذا وتختلف المسكوبات فيما بينها ليس فقط من حيث مظهرها السطحي ، بل تختلف أيضاً في شكلها الإجمالي وبأبعادها ، وذلك دون الكلام عن المسكوبات التي تتواجد مع أشكال أكثر تعقيداً مثل اللعابيات bavures البازلتية[٢٥] فوق مخروط الخبث والمسكوبات التي تتراكب فوق بعضها البعض ، كما تختلف كثيراً حسب كمية اللابة المنطلقة ، فهناك لابات طويلة تمتد لبضعة كيلو مترات وحتى بضع عشرات الكيلو مترات كتلك التي انسابت من جبال السراة وانساحت غرباً في أودية تهامة المتجهة نحو البحر الأحمر ، مثلما تختلف أيضاً حسب الشكل الطبوغرافي الذي انسابت فوقه ، كالميل الطولاني الشديد أو الضعيف ، والمنسجم أو المتبدل ، والمقطع العرضاني المتفاوت في انحداره . كما تتطاول بعض المسكوبات المنسابة في أودية ضيقة ومتعمقة مع مقطع عرضاني محدب ، على شكل لسان ، وتسمى مسكوبات خيطية الشكل ، كما تنساب مسكوبات أخرى في سهول أو فوق مستويات مائلة ، وتمتد على نطاق

= الكلس وألياف القنب لصنع مادة طينية تكسى بها أسطحة المنازل الشرقية القديمة وذلك قبل ظهور الإسمنت وبطل استعمالها قبيل الحرب العالمية الثانية في بلاد الشام .

(٢٥) ويقصد لابة سائلة فوق بركان من خبث خشن ، أي كأن اللابة لعاب سال من فوهة البركان لمسافة قصيرة .

عريض . وهكذا يبدو الشكل الطبغرافي للمسكوبات منذ انطلاقها إذن متغيراً للغاية ، وذلك حسب الطبغرافية السابقة لانسياب اللابة ، وحسب كمية اللابة المتدفقة ، وأخيراً حسب سيولة المسكوبة وعلى كل حال تعمل اللابة على طمس معالم التضاريس السابقة لأنها تنهمر في الأودية قبل سواها .

٤ ـ **أشكال بدائية أخرى في البناء البركاني :** تعطي بعض البراكين الانفجارية ، كما سبق ورأينا ، تعطي قباباً لابية (نموذج ذلك منطقة ديرة التلول وبوي دودوم Puy - de - Dôme في وسط فرنسا) ، ويتشكل أيضاً على المنحدرات كونغلوميرا من نماذج مختلفة والتي لن نتعرض لأكثر من مثال واحد عنها . وإذا ما هطلت أمطار غزيرة على سفوح بركان ما ، أو أدى تفريغ مياه بحيرة فجأة بفعل زلزال إلى تبلل الرماد الدقيق ، فتتشكل عندئذ مسكوبة ليست لابية بل وحلية تنحدر بفعل الجاذبية . وتدعى هذه الظاهرة **لاهار Lahar** (كلمة أندونيسية) ، فقد تهدمت مدينة هركولانوم بمسكوبة لاهار ، في حين أن كارثة بومبيئي نتجت عن تكدس الرماد المتساقط فوقها .

رابعاً ـ عوامل تعقيد التضاريس البركانية : الحت ، التخريب العنيف ، والترصيع أو التصندق emboîtements :

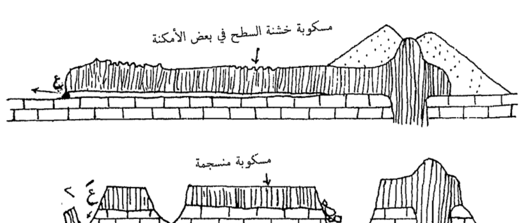
ما أن يتم تشييد التضاريس البركانية حتى يعمل الحت على تهديمها مستغلاً تفاوت المقاومة بين اللابات القاسية والخبث التي تكون نسبياً قليلة المقاومة من جهة وبين الصخور غير البركانية التي تغلف اللابة أو تتحملها من جهة أخرى . إذن يلعب الحت التفاضلي دوره بين صخر بركاني وآخر وبين الصخور البركانية والصخور الأخرى .

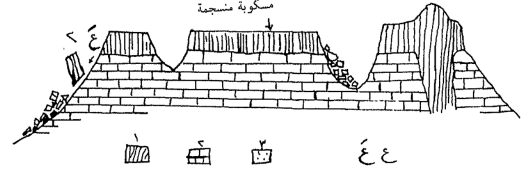
هذا ويكون **الرماد** البركاني حساسا جدا تجاه الحت لسرعة تشبعه بالماء بسبب نعومة حباته فيتصرف كصخر كتيم وبالتالي ينجرف بالسيلان . أما

الخبث الخشن فيقاوم بصورة أفضل نوعا ما ولكنه يكون هشا وعرضة للزحف Coulées وهكذا تستدير منحدرات مخاريط الخبث بسرعة كبيرة جدا وتفقد حدتها الأولى . وبعد بضع عشرات الآلاف من السنين تتلاشى الفوهات cratères ، كما أن المخاريط التي كانت انحدارات سفوحها تقارب ٣٥ درجة أصلا تصبح ميولها بحدود ٢٥ درجة . وفترة الدور الرابع التي استغرقت ثلاثة ملايين سنة كانت كافية لتخريب المخاريط وفوهاتها بصورة شبه كلية كما هو الحال بالنسبة لأكثرية مخاريط جبل العرب وحوران وجبل الحصّ .

أما لابة المسكوبات Coulées **فهي أكثر الصخور البركانية مقاومة .** فهي تتعرض للحت نوعا ما على أطرافها لأن بنيتها كثيرة الفصمات وتتشقق على شكل موشورات عمودية تسمح للحت بأن يجزئها إلى أعمدة شبهية بأنابيب الأرغن ، والتي لا يزال منشؤها موضع نقاش . أما على السطح فتتعرض اللابة أولا لتخريب تفاوتات سطحها بفعل التشظي والتجزؤ وتشكل التربة . وهكذا تصبح أكثر المسكوبات خشونة ، مع تقادم الزمن والهرم ، تصبح مسكوبة منسجمة بل وقابلة للزراعة إذا كان المناخ يسمح بذلك كسهول حوران مثلا . أما إذا كان المناخ جافا فتحافظ على خشونتها الأولية لمدة طويلة كالحرات في شرقي جبال الحجاز وبجوار المدينة المنورة . وتكون المسكوبة الحديثة ، الكثيرة الشقوق دوما ، شديدة النفاذية للماء ولكن ما أن تصبح هرمة حتى تسطم الأنقاض شقوقها وتغدو اللابة كتيمة إلى حد ما حتى أنها تصلح لتخزين الماء كما في البرك في مدن جبل العرب أو في بصرى في حوران .

غير أنه بالرغم من ظهور المواشير البازلتية على أطراف المسكوبة ونشوء تربة تفسّخية على سطحها فإن المسكوبة تقاوم عوادي الحت في مجملها .





(شكل ٦٠) ـ انقلاب التضريس البركاني . ع غ : نبع
في الأعلى بركان حديث . بالأسفل بركان قديم . ١ ـ لابة . ٢ ـ مارنيات . ٣ ـ خبث

ويؤدي عمل الحت فيها إلى **انقلاب التضريس البركاني** (شكل ٦٠) ففي البداية تسلك المسكوبة في الميل الأعظم باعتبارها سائلا وتخضع للثقالة (الجاذبية) . فهي تجنح إذن إلى احتلال قيعان الأودية حيث تستطيع فعلا تشويش الشبكة الهيدروغرافية (المائية) قاطعة الطريق أمام الأودية الرافدة التي كانت تصب في الوادي الرئيسي الذي انساحت فيه وبذلك تشكل بحيرات السد البركاني ، كبحيرة عايدات في منطقة أوفيرنيه Auvergne أو بحيرة قطينة في سورية أو مستنقعات الغاب سابقا ، وبحيرة طبرية . ولكن المسكوبة لا تلبث أن تبرز للأعلى ، لأن الأرض التي استقرت فوقها أصبحت مصفحة بالبازلت أي بالمسكوبة ذاتها ، في حين أن الحت يعمل بسهولة أكبر في الصخور غير البركانية الواقعة على طرفيها . وهكذا تصبح المسكوبة ، التي كانت تحتل النقاط المنخفضة ، تصبح الجزء العالي في المنطقة . وبالإضافة إلى ذلك تتحول إلى تلاع منعزلة ذات قمم منبسطة تدعى ميزا mesa ، وهي كلمة

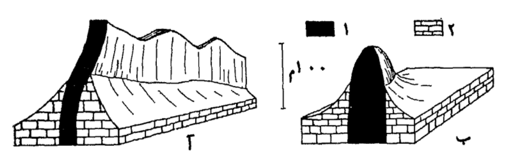
إسبانية تعني طاولة ، كالميزات الواقعة إلى الشرق من حماه وميزا جبل شبيث جنوب شرق حلب ، وميزا دامر الكبرى والصغرى بجوار بلبل شرقي ميدان اكبس .

هذا ويعمل الحت التفاضلي بواسطة **التحفية** déchaussement لأنه يكشف اللابات الباطنية عندما يحت بسرعة في الصخور غير البركانية أو في الرماد الذي يغلف الصخور البركانية . وهكذا تخرج البنى الداخلية للعيان .

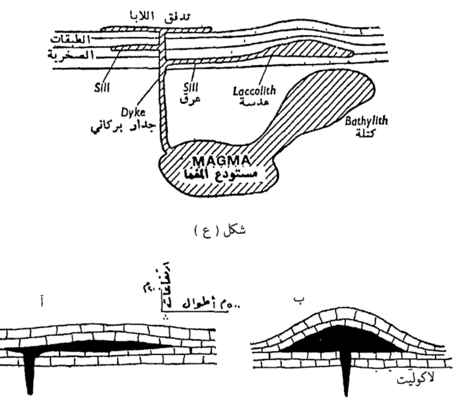
وفي الواقع يقوم الحت بكشف جذور البراكين . فتحت بركان ظاهري توجد مدخنة أو أكثر مليئة باللابات . وتنغرس هذه المداخن ضمن الصخور السفلية على شكل أصابع قفاز ، وفي بعض الحالات تملىء اللابة انكسارا بكامله أثناء صعودها كما تستطيع هذه اللابة أن تتسلل بين طبقتين رسوبيتين . كما قد تتمكن من إنهاض هذه الطبقات الرسوبية على شكل قبة مثل جبل الشيخ بركات قرب دير سمعان العمودي جنوب غرب حلب .

وتطلق كلمة **دايك** dyke على الحائط اللابي الذي تقولب ضمن كسر (شكل ٦١ ب) . كما تطلق كلمة **عقب** Culot **أو نك** neck على المدخنة اللابية التي كشفها الحت التفاضلي (شكل ٦١ ب) .

ويؤلف العقب أحيانا عمودا عاليا يسبب الدوار فاستغل بعضها كمواقع



(شكل ٦١) ـ مجسمان لدايك (آ) لعقب لابي (ب) . ١ ـ لابة ، ٢ ـ مارنيات .



شكل (ع)

(شكل ٦٢) ـ السيلل (أ) واللاكوليت (ب)

لقلاع محصنة كما في كثير من الحالات في منطقة أوفرنيه Auvergne الفرنسية .

أما **السيلل** Sill فهو القالب الذي اتخذته اللابة في مستوى تطبقي (ستراتيغرافي) مفصول بطبقتين رسوبيتين (شكل ٦٢ آ) ، على أن **الجرس البازلتي** أو العدسة البازلتية أو **اللاكوليت** laccolite هو انتفاخ اللابة الذي أنهض الطبقات الرسوبية على شكل قبة كجبل الشيخ بركات المذكورة آنفا (شكل ٦٢ ب) .

هذا وتؤلف **التخريبات العنيفة** مصدرا آخر للتعقيدات المورفولوجية . ويمكننا إيراد حالتين هما : الانفجار والانهيار البركاني .

فالانفجار يؤدي لنسف جزء كامل من بركان ويشكل تجاويف دائروية

تصبح مهدا لبحيرة كبحيرة مسعدة في الجولان وبحيرة بـافين Pavin في أوفيرنيـه الفرنسية . ويجدر بنا أن نشير إلى أن فوهات مخـاريـط الخبث الخشن لا تحوي على بحيرات نظرا لشـدة نفـاذيـة الخبث . ولكن إذا نفـذ الانفجـار إلى الركيزة الكتيمة تحت البركان فمعنى ذلك أنه وصل إلى نطاق كتيم يستطيع الماء أن يرقد فوقه .

ولفوهـات الانفجـار قطر ينـدر أن يتجـاوز الكيلو متر الـواحـد . ويجب علينا أن نميز بحيرات الفوهات هذه عن بحيرات السد البركاني .

هـذا وتكثر **الانهيـارات** éffondrements في البراكين . وفي الواقع يـوجـد تحت كل بركان خزان من المواد البركانية الذي تفرغ شيئا فشيئا أثناء الثوران . أي لم يعد البركان بعد خموده محمولا فوق قاعدته وقد ينهار جزئيـا . وينتج عن ذلك أيضا تجويف دائروي يكون عموما أكبر بكثير من فجوة فوهة الانفجـار . وتنتسب فوهـات كبـار البراكين في جزر هـاوائي إلى هـذا النوذج لأنهـا تبـدو وهي فاغرة فوهاتها ضمن أكداس اللابات ، وهناك أيضـا فوهـات انهيـاريـة في براكين اللابة الحامضة ، مثال ذلـك بحيرة تويـا Toya في اليـابـان ، لأن هـذه الفوهات تمتلىء بالمياه أيضا وربما يعود حوض ميناء عـدن المستـدير إلى نفس المنشأ .

هذا ويطلق على فوهات الانهيار وفوهات الانفجـار أحيـانـا اسم **كالـديرا** Caldeira .

خامسا - بعض النماذج الكبرى عن البراكين المعقدة

تخلـق الانهيـارات والتصنـدقـات emboî tements والعمـل الحتي المتقـدم مجموعات أشكال تقودنا إلى تقسيم التضاريس البركانية المركبة إلى نماذج عديدة .

١ ـ **الطراب** Trapps : تطلق عبارة طراب على أكداس مسكوبات اللابة الرقيقة والمائعة . فقد نجد أربعين مسكوبة متنضدة سمك كل واحدة منها خمسة أمتار . وتكون هذه المسكوبات مفصولة عن بعضها البعض أحيانا بنثير خفيف من الرماد بحيث نكون أمام بنية شديدة التورق . وهنا لا نجد أي أثر لمخروط بركاني بل يعتقد أن مسكوبات الطراب قد تدفقت على شكل مائع جدا ابتداء من شقوق عمودية . وقد تخترقها بعض الأودية على شكل خوانق . وتؤلف الطراب مناطق واسعة كما في شمال غربي الدكن في شبه القارة الهندية وفي جبال اليمن .

٢ ـ البركان الكبير الهاوائي :

ويظهر على شكل قرص لابة متصلبة تنطلق من فوقها بين حين وآخر لابات حديثة مائعة . ويمكن أن يكون المجموع عظيم الرقعة لأن بركان مونا لوءا يمتد على رقعة يبلغ قطرها ١٠٠ كم . ويرتفع إلى أكثر من ٤٠٠٠ م غير أن الميل العام يظل ضعيفا يتراوح بين ٤,٢٢ درجات و ٥,٤٨ درجات ، ولكن قد تحوي أكداس اللابة في بعض الأمكنة على انحدارات تفوق ٢٠ درجة . هذا وتتعاقب على السفوح أشكال الآآ والباهوهه . أما القمة فهي عبارة عن حوض انهياري واسع تثقبه بضع حفرات هي عبارة عن فوهات . غير أن اللابة لا تنطلق دوما من القمة ، بل تنبث من شقوق شعاعية من حولها ، كما في the Great Crack أو الشق الكبير في جزيرة هاوائي ، وتنتشر على شكل كتل كبيرة مائعة . وقد يتشكل أيضا مخروط خبث ولكن يظل حجمه قليل الأهمية نسبيا .

هذا وتتعقد طبغرافية الأرض أيضا بفعل تجاور براكين كبرى ، وهكذا تتألف جزيرة هاوائي من ست مجموعات بركانية تتقاطع خواصرها وتمتد فيما

بينها أودية كبيرة . واحد هذه المراكز الكبيرة هو بركان كيلوءا Kilauea المتلاحم بشكل وثيق أكثر من البراكين الأخرى مع بركان مونا لوءا ، وله فوهة انهيارية فسيحة يبلغ قطرها خمسة كيلو مترات .

وعندما تتوقف الثورانات لا يتأخر الحت عن استرداد أرجحيته . وهذا ما يحدث في جزيرة كاوائي ، وهي إحدى جزر هاوائي ، حيث تنحفر في اللابة خوانق عظيمة ، مماثلة لخوانق المناطق الكلسية . ويزداد عرض هذه الخوانق أحيانا من طرف العالية على شكل مدرجات سيلية ، كما في جزيرة ماوي ، إحدى جزر هاوائي . وهكذا يتطور الجهاز الهاوائي نحو تحزز يجعله في نهاية الأمر عبارة عن أصلاب échines مائلة مفصولة عن بعضها بأودية ذات خواصر شبه قائمة .

٣ ـ المخاريط المعقدة :

نادرا ما يكون المخروط منعزلا . فحتى بالنسبة لبركان صغير تقليدي فهو لا يحتوي على مخروط ذي فوهة فحسب بل يشتمل أيضا على مسكوبة بازلتية تنساب على العموم من قاعدته بين الأساس الذي يرتكز عليه البركان وبين كتلة الخبث .

هذا وتتعقد الأشكال لأن المخروط نفسه يكون في أكثر الأحيان مؤلفا من تصندق emboîtement عدة مخاريط . فالمخروط الأول يكون مشطورا من أعلاه بفوهة واسعة ، تكون أحيانا عبارة عن فوهة انفجار أو فوهة انهيار . ويؤدي ثوران جديد إلى ولادة مخروط خبثي جديد في هذه الفوهة الصغيرة ، في وضع متطرف أحيانا . ويتمدد بين هذا المخروط وبين جدار الفوهة الكبيرة الموجودة سابقا منخفض دائروي . تلك هي بنية بركان فيزوف . ففي فيزوف

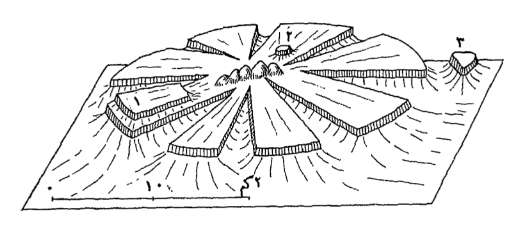
يبدو من المحتمل أن الفوهة الكبرى قد تشكلت عند ثوران عام ٧٩ ميلادي وأن المخروط المركزي نشأ بعد ذلك التاريخ . وتسمى قمة المدرّج الخارجي **سوما** Somma ، وتطلق عبارة **آتريو دلكافالو** Atrio del Cavallo على المنخفض شبه الدائروي الواقع بين هذا المدرج وبين المخروط المركزي ، والذي يحمل اسم فيزوف الحقيقي .

٤ ـ البراكين الكبيرة ذات البلانيز (البراكين المتطبقة) (نموذج اتنا ، كانتال) :

لا يكون البركان الكبير التقليدي عبارة عن مخروط كبير معقد فحسب بل يتشكل أساسا من مسكوبات كبيرة تتناوب مع كتل من الخبث . أما السطح العلوي فعبارة عن منظومة من الانحدارات الشعاعية يتألف هيكلها من المسكوبات والتي تستطيع الأودية المنطلقة من المركز أي البّرانكو barrancos أن تحززها .

فالجزء من المسكوبة الواقع بين واديين متعمقين يصبح نوعا من هضبة مائلة تدعى **البلانيز** planèze . ومن زاوية النظر من السطح فإن البلانيز تتخذ شكل مثلث يتجه رأسه نحو العالية أي نحو مركز الصرح البركاني (شكل ٦٣) . هذا ولا تتشكل البلانيز بوضوح إلاّ إذا كان التطور متقدما ، ولكن من النادر جدا ، وذلك حتى في حالة بركان فتي ، أن لا نرى ملامحها مرسومة بين المسيلات التي تعمقت نوعا ما .

ويعتبر بركان **آتنا** بركانا كبيرا لازال ناشطا ولكنه على درجة من الهرم سمحت للحت أن يقطع في اللابات المحيطة به واديا هاما هو Le Valle del Bove لافالدبلوف . أما **كنتال** فهو بركان أكثر قدما ، خامد ، شديد التشريح بحيث لم يبق من البركان القديم سوى هيكله : أي بلانيزات منفصلة



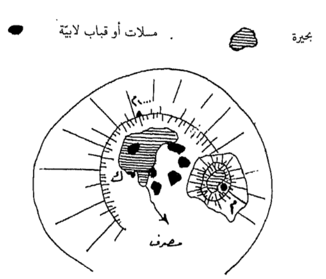
(شكل ٦٣) ـ مخطط نظري لبركان ذي بلانيز

لاحظ الأودية الشعاعية والبلانيز المثلثاتية ، والقمم المركزية التي هي عبارة عن عقوب Culots متخلفة عن مداخن قديمة . في ١ و ٢ شاهدان عن مسكوبات عليا اجتثها الحت من المناطق الأخرى . ٣ ـ تلعة شاهدة من لابة تشير إلى اتساع المسكوبة القديم .

عن بعضها بوديان جمودية شعاعية ، وعقوب في مواقع المداخن ، ودايكات ملأت شقوق الكسور القديمة . غير أن العناصر الطرية تظل عندما تكون مستحاثة كحال الخبث والرماد المحفوظين تحت المسكوبات .

٥ ـ الأشكال المعقدة الفولكانية ـ البيلية ذات الكالديرا :

يكون للعضويات البركانية الكبرى من النموذج الفولكاني ـ البيلي ، كتلك التي نجدها في اليابان ، يكون لها مساحة تتراوح بين ١٠٠٠ و ٨٠٠٠ كيلو متر مربع . وتتألف من كالديرا مركزية ومن كالديرات ملحقة ، ومن مجموعة نقاط ثورانية (فوهات ، قباب ، مسلات) واقعة على حافة الكالديرات ، ومن إطار هامشي على شكل خاصرة مخروط تهبط من كل الجهات نحو الخارج بانحدار لطيف مقعر (شكل ٦٤) . وتتألف هذه الخواصر الخارجية من رماد ومن خفان متماسكة أحيانا مع بعضها أو منفرطة . أما الكالديرات الوسطى فقد تكون مشغولة ببحيرات أو حتى بمياه البحر مثل كالديرا عدن حيث قامت فيها مدينة عدن والميناء وأهم حي فيها لا يزال يحمل اسم حي الكراتر ونجد في



(شكل ٦٤) ـ معقد بركاني ذو كالديرا

معقد بحيرة كوتشارو في اليابان . لاحظ أن المخروط (م) ذاته كيف يبدو مبقورا بكالديرا هي كالديرة ماشو المصندقة في الكالديرا الرئيسية ، أي في كالديرة بحيرة كوتشارو (ك) . وقد انبثقت مسلات أو قباب لابية بعد تشكل كل كالديرا . وتؤلف إحداها جزيرة ضمن البحيرة .

سورية بركاناً من النمط المعقد ذي الكالديرا وهو بركان منخر الغربي الواقع إلى الشرق من الرقة .

هذا ولا يكون لبعض البراكين الفولكانية ـ البيليه وضوح الأجهزة البركانية التي تضم كالديرا وقبابا ومنحدرات خارجية خفانية . كما لا تحوي بعضها سوى قسم مركزي غامض المعالم : **تلك هي البراكين الركامية** Cumulo - Volcans وهكذا يبدو جبل بيليه ، وجزيرة إيشيا في خليج نابولي والتي يهيمن عليها مخروط إيبوميئو Epomeo ، أو مجموع جزيرة ليباري الخامد ، تبدو جميعا وكأنها أكداس لا شكل لها من القباب اللابية ومن كتل الخفان الأبيض ويسميه العوام الزَبَد ، ومن دفقات من لابات حامضة فاتحة اللون أو من صخر الأبسديان وتتجاور قمم من الخفان الأبيض الباهر مع قباب من اللابة .

ونرى من خلال هذه الأمثلة أن للبراكين أشكالا تختلف جـدا عن المخروط التقليدي البسيط التي تمتد من خاصرتـه مسكوبـة لابيـة . ويـنـدمج البركان في تطور مورفولوجي يقوم بالهـدم بفعل الحت والـذي يؤلف كالـديرات ، ومن ثم يبني ضمن الأشكال التخريبية . كما قد يكون منخفضا كليا بالتكتونيك العام في منطقته ، حتى قـد يتعرض لاجتيـاح بحري ، فيتغطى بصخور رسوبيـة بحيث يصبح مستحاثا بانتظار نهوض جديد يكشف من جـديـد بنيـة البركان القـديم الشديد التعقيـد ، والمغلف بزمرة رسوبيـة متنـافرة فوقـه وهنـا يـدعى البركان المنبوش .



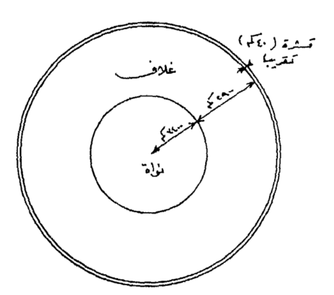
الفصل السادس

تركيب القشرة الأرضية
تشكل السلاسل الجبلية ، والركائز والأحواض

مقدمة : لقد تعرضنا في الفصول السابقة لدراسة المواد التي تتألف منها الجبال والسهول ولكن لم نتساءل مطلقا عن أصلها ولا عن الحركات التكتونية المولدة للتضاريس : والآن سنتصدى لهذه المسائل .

أولا ـ النواة ، الغلاف ، القشرة

تتألف الأرض ابتداء من مركزها حتى سطحها من العناصر التالية (شكل ٦٥) :



(شكل ٦٥) ـ الطبقات الثلاث المتحدة المركز في الكرة الارضية

ـ **من النواة** ويبلغ نصف قطرها ٣٤٠٠ كم تقريبا ، وهي من طبيعة غير معروفة بدقة ، فهي ليست مؤلفة من نـار مركزيـة ، ولا بحـالـة انصهـار ، ولا صلبة .

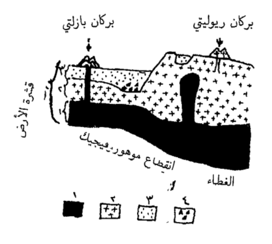
ـ **من غلاف** يغلف النواة ويقارب سمكه حوالي ٢٩٠٠ كم أنه يتألف من مواد اساسية basiques جدا .

ـ **من قشرة** ذات سماكـة متبـدلـة جـدا قـد تصل الى ٤٠ كم . ويسمى السطح الداخلي الذي يفصل الغلاف عن القشرة انقطاع مورهوروفيجيك . أما القشرة فتتشكل بدورها من ثلاثة نطاقات (شكل ٦٦) :

ـ نطاق سفلي يدعي النطاق **البازلتي** .

ـ النطاق الثاني ويسمى النطاق **الغرانيتي** .

ـ النطاق الثـالث فوق الطبقـة الغرانيتيـة ، ضعيف السماكـة والتي تختلف كثيرا من مكان لآخر ، ويـدعى الطبقـة **الرسـوبيـة** وهي غير متصلـة وغير شاملة .



(شكل ٦٦ ـ العلاقات بين مختلف اجزاء القشرة الارضية :

١ ـ الطبقة البازلتية ٢ ـ الطبقة الغرانيتية ٣ ـ الطبقة الرسوبية ٤ ـ قسم من الطبقة الرسوبية آخذ في الاستحالة .

فللنطاق البـازلتي نفس التركيب في صخور البـازلت التي تصـدر عنـه عن طريق صعود المواد المصهورة بعـد أن تخترق الطبقـة الغرانيتيـة . ولكن الصخر الذي يتألف منـه النطـاق المـذكور لا يكون لـه بـالطبع ، في الأعمـاق ، بنيـة البازلت ، لان البـازلت ينتج عن انطلاق سريع للغـاز ، الامر الـذي لا يمكن ان يتحقـق في الاعمـاق . وتـدعى هـذه الطبقـة البـازلتيـة أيضـا **السيمـا** لأن عنصريها الرئيسيان هما السيلسيوم والمغنزيوم .

النطاق الغرانيتي أو السيال ، لان السيليسيوم والألمنيوم هما العنصران الرئيسيان فيه ومنه يتشكل الغرانيت . ويتـألف في قسمـه الاعلى من الغرانيت المتشكل بعد تبرد بطيء وتبلور كامل .

وتفسر **البراكين بكسـور** تسمـح بمرور مـادة القشرة . فـاذا كان الكسر ينزل مبـاشرة أو بصورة غير ميـاشرة حتى مستوى الطبقـة البـازلتيـة ، فنكون أمام بركان أساسي . أمـا اذا لم يهبـط الكسر لأكثر من الطبقـة الغرانيتيـة فـان البركان يتألف من لابات حامضة فاتحة اللون ، كصخور الريوليت .

وتختلف السماكة الكلية لهـذين النطـاقين من القشرة من منطقـة لاخرى . وفي الاجمال تكون هذه السماكة أكبر تحت المناطق الجبلية ممـا هي تحت السهول والمحيطات . ويبدو أن القشرة تنعدم تماما تحت المحيط الهادي .

ويتألف **النطاق الرسوبي** (الذي يدعى أحيانا **الحطامي**) من صخور صادرة عن تهديم الصخور السابقة الذكر : وتتألف من الصخور الرسوبية بالمعنى الضيق ، ومن لحقيـات ، ومن تـوضعـات مختلفـة ، ولكن قـد تخترقهـا صخـور قادمـة من النطـاق الغرانيتي أو من النطـاق البـازلتي بواسطـة التسلل (صعود المادة داخليا) أو بواسطة الانسيـاب البركاني . كما تضم الصخور الرسوبيـة ، من ناحية اخرى ، صخورا مشيدة كالصخور الكلسية المرجـانيـة . وفضلا عن ذلـك

تستطيع الاستحالة (الفصل الرابع) ان تحول العناصر الرسوبية الى صخور مماثلة جدا لتلك التي يتشكل منها النطاقان الغرانيتي والبازلتي .

هذا وتكون سماكة النطاق الرسوبي أكثر تبدّلا من سماكة النطاقين السالفي الذكر . ففي بعض الأمكنة وخاصة فوق حفر المقعرات الارضية géosynclinal حيث جرى ترسب شديد ، فان سماكة رسوبية تبلغ ١٠٠٠٠ م هو امر ممكن ، كما هو الحال في السهل الرسوبي العراقي ، ولكن قاع رقعة رسوبية عميقة كهذه يجنح الى الاستحالة والى تحول محتوياته لصخور مماثلة لتلك التي نجدها في الطبقة الغرانيتية . ولكن النطاق الرسوبي قد ينعدم كليا ، وفي هذه الحالة ، تتكشف الطبقة الغرانيتية للعيان كما في غربي هضبة نجد أو في قلب الصحراء الكبرى .

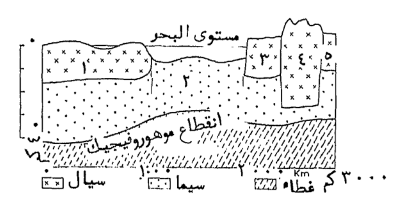
ثانيا ـ التوازن السيالي isostatique

تكون القشرة الارضية أقل كثافة في الكتل الجبلية مما هو الحال تحت السهول ، وتكون أقل كثافة تحت السهول من كثافتها تحت المحيطات . أي أن كل شيء يتم كما لو كانت كتل القشرة الأرضية تطفو أكثر كلما كانت كثافتها أقل ، شبه مكعبات من الخشب موضوعة فوق بركة ماء تغوص أقل كلما كانت مصنوعة من خشب ضئيل الكثافة كالشوح مثلا . وهكذا نشأ مفهوم التوازن الهيدروستاتيكي أو كما يقال **السيالي** isostatique بين اجزاء قشرة الأرض (شكل ٦٧) .

هذا ويمكن ان يختل التوازن السيالي isostatiqueفي الحالات التالية :

١ ـ عند تشكل سلسلة جبلية .

٢ ـ اذا عمل حت عنيف على تخفيف كتلة جبلية بفعل كشط الصخور



(شكل ٦٧) ـ الكتل القارية والكتل المحيطية

وتتألف القطع رقم ١ ، ٣ ، ٤ ، ٥ من السيال . انها الجنات « cratons » اي الكتل القاربة بما في ذلك الكتلة رقم ١ المستورة مع ذلك جزئيا بالبحر ، ولكنه بحر ضحل . ونلاحظ ان الكتل الجبلية ، وهي التي تعوم أكثر من سواها ، مثل كتلة رقم ٤ ، تكون الاكثر سماكة وايضا أقلها كثافة .

أما الكتلة رقم ٢ والمغطاة بمحيط فهي عبارة عن كتلة محيطية ، مؤلفة من السيما.لاحظ ان السيما تشكل ايضا ارضية مشتركة للكتل القارية التي فوقها نوعا ما . وقد أغفلنا تمثيل الطبقات الرسوبية بقصد التبسيط والتي تغطي هذه الكتل في بعض الاماكن .

التي راحت انقاضها تتكدس فوق كتلة اخرى واقعة تحت مياه المحيط بفعل عملية النقل والترسيب .

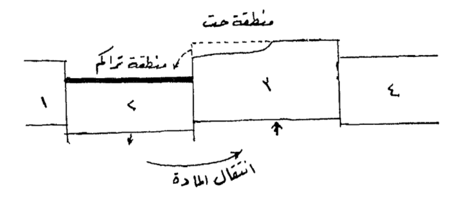
٣ ـ اذا ادى تسخن مناخي الى تذويب قبعة جليدية سميكة تغطي كتلة برمتها مثل أرخبيل « جزيرة » غروئنلندة مثلا .

وعندئذ يجنح التوازن الى الاستقرار بواسطة الحركات العمودية ، فإن الكتلة المتخففة تجنح نحو النهوض بينما تتجه الكتلة المثقلة نحو الغطس ويجب ان تنتج عن ذلك حركات تعتري المواد السائلة الموجودة تحت القشرة (شكل ٦٨)

أما حالة تخفيف ناجم عن ذوبان الجليد ، أو الحركة الجمودية المغيّرة لمستوى البحار[٢٦] فقد درست عن كثب في اسكاندينافيا ، حيث حدثت حركة

---

(٢٦) فقرة ٤ الفصل الثاني



(شكل ٦٨) ـ مخطط لحركة تعويض في التوازن السيالي

١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ ، كتل من القشرة . اللون الاسود ويشير الى رسوبات قدمت من حت القشرة من الكتلة رقم ٣ المتخففة فتجنح نحو النهوض .

ايجابية منذ اختفاء القبعة الجمودية الرباعية أي منذ قرابة عشرة آلاف سنة . ولا زالت الحركة مستمرة حتى أيامنا هذه بمعدل متر واحد في كل قرن حتى أن عمق الموانئ في خليج بوتني قد تناقص بشكل يلفت النظر مما ادى الى عرقلة الحركة الملاحية . هذا وتتجاوز السعة القصوى لهذه الحركة ٢٥٠ مترا وكانت نتائجها المورفولوجية عظيمة لان شكل بحر البلطيك قد تغير عدة مرات خلال النهوض المذكورة . وقد تعرضت كندا الشرقية لحركة مماثلة .

هذا ويكون استقرار الكتل السيالية متبدلا جدا **وتطلق تسمية مجن أو ترس** bouclier أو craton **على الكتلة المستقرة نسبيا والمؤلفة من سيال**(٢٧) . كما يقال بأن هذا المجن عبارة عن **كتلة** bloc **قارية** حتى ولو كان مستورا بالبحر ، لان البحر يكون حينذاك ضحلا وان قعره لا يجنح للغوص بسرعة كحال خليج قابس في شرقي تونس ، مثلما يعتبر بحر الشمال

(٢٧) هناك خطأ شائع لدى الكثير من الجيولوجيين والجغرافيين في العالم العربي وهو اطلاق عبارة « درع » على الكتل الواسعة الصلبة التي تدعى Shield بالانكليزية boucher بالفرنسية والصحيح هو ان تترجم بكلمة ترس أو مجن وهكذا نجدهم مع الأسف يكتبون « الدرع العربي » أو « درع القوات المسلحة »

والمـانش جزءا من مجن . وعلى العكس يعتبر الجيوفيزيـائيون **الرقع المحيطيـة الحقيقية** هي المؤلفة من السيما . ويجنح قسم من الرقع المحيطيـة بشكل واضح نحو الغوص : تلك هي المقعرات الارضية التي سندرسها في الفقرة الخامسـة بعـد قليل .

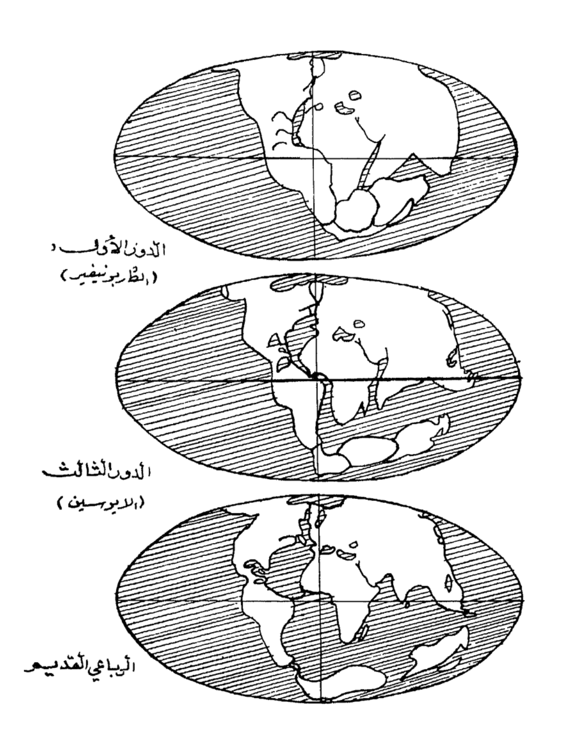
ثالثا ـ نظرية انسياج القارات .

كان العالم الالماني فيغنر Wegenerهو الذي صاغ نظريـة انسيـاج القـارات سنة ١٩١٢ والتي تقول بأن القارات التي تبدو اليوم منفصلة عن بعضها البعض ، كانت متلاحمـة على شكل قـارة واسعـة ، وحيـدة ، او urkontinentمـؤلفـة من السيال ومن ثم تجزأت . وهذه هي التي انتقلت من امـاكنهـا السـابقـة كي تحتل الـوضـع الحـالي (شكل ٦٩) . هـذه النظريـة التي لاقت رواجـا كبيرا بين ١٩١٢ و١٩٢٥ افادت كثيرا لتفسير تشكل السلاسل الجبلية . اما اليوم فهي مثار جدال ونقاش ويفسر تشكل الجبال ، على العموم ، بتضافر عدة نماذج من الحركات .

رابعا ـ تشكل السلاسل الجبلية :

تطلق تسمية سلسلة أو على الوجه الاصح **سلسلـة الالتواء** على تضريس ذي بنيـة معقـدة ، ولا سيا التضريس الـذي اصيبت صخوره بضغوط جـانبيـة تمخضت عن طيات متفاوتة في تعقيدها . وجرت العـادة على استخـدام عبـارتي **تكوين الجبال** orogénèseو **تكوين البنـاء** téctogenèseللدلالة على ولادة سلسلة الالتواء .

فسلسلة ملتويـة كجبـال الالب يمكن ان تكون قـد التوت قبل ان تنهض أو في نفس الوقت الذي كانت تنهض فيـه . وبـالواقع تتم ولادة سلسلـة جبليـة عموما على عدة مراحل .

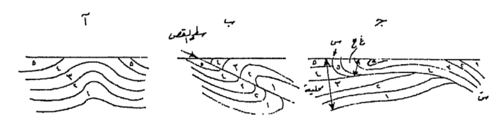


توزع القارات (عن فجنر)

(شكل ٦٩)

وسيكـون اذن من الجـوهري ان نميز ، في كل مـا سيـأتي ، عمر تشكل الصخـور وعمر تشكل الحركات الرئيسيـة التي تعتري هـذه الصخـور وتـاريـخ الجبـل بعـد عصر الحركات الرئيسيـة . ولكل سلسلـة جبليـة سيرتهـا ، كما قـال استاذنا بيار بيرو P.Birot .

وعلينا ان نميز نماذج مختلفـة في السلاسل ، ولكن بعض الظواهر تتكرر في عـدة منهـا ، وخـاصـة **الطيـة** pli **وغشـاء الجرف** nappe de charriage (شكل ٧٠) . وتطلـق عبـارة طيـة على كل تمـوج ملحـوظ يعتري الطبقـات الجيولوجية ، فطية ما يمكنهـا ان تكون معقـدة بصورة متفـاوتـة ، وقـد تكون رزمة من الطبقات مقصصـة بحيث تمر فوق طبقـات اخرى ، تلـك هي حـالـة **التراكب** أما اذا اخذ التراكب مدى واسعا واذا ما تـدفق غشـاء مؤلف من بضع طبقات فوق طبقات اخرى ، على مسافة بضعـة كيلو مترات أو عشرات الكيلو مترات ، فعندها نسميه **غشاء جرف** . وقـد نشـأ مفهوم الجرف بعـد ملاحظـة صخر قـديم مستقر فـوق صخـور احـدث ، وهـذا الاكتشـاف أجبر العلمـاء على

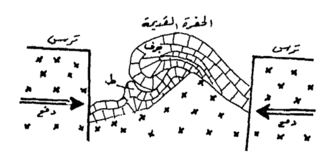


(شكل ٧٠) ـ طية ، تراكب ، جرف

في آ طية . في ب تراكب chevauchement . في ج جرف وقد انـدفق الغشـاء غ ج فوق سطح انقلاع س سَ فوق الصخور المحلية .

١ الى ٥ طبقات مصنفة حسب النظام التأريخي لتشكلها .

لاحظ أن السطح الطبغرافي يمكن ان يكون كيفما اتفق ، هنا أفقيا مثلا ، وعبارة كل من طيـة وجرف تنطبقـان على بنى Structures وليس على أشكال أرضية ، والتي هي نتيجة الحت الذي أعقب تشكل الطبقات .



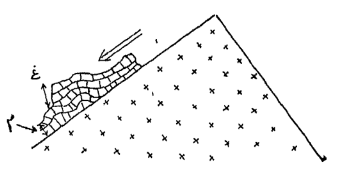
(شكل ٧١) ـ تشكل سلسلة البية استنادا لنظرية الارتصاص لاحظ الطية ط والجرف

الاعتقاد بأن الصخر القديم لا يمكنه أن يرقد فوق صخور أحدث الا بفعل اندفاق الغشاء الرسوبي .

ترى ما هي القوة التي تلوي ، والتي تعمل على تراكب الطبقات ، أو على جرف الطبقات الجيولوجية ؟ لقد تذرّع العلماء بفكرة حركات الدفع الجانبية ، او المماسية ، ومن ذلك جاءت **نظرية الارتصاص** serrage (شكل ٧١) . وفي هذه الحالة يجب حينئذ ان نتعرف على قوة الدفع وتقدم نظرية الانسياج لنا احدى هذه القوى . فقارتان صلدتان ، نسمي كل واحدة منها ترساً môle ، ترصّان ، عند اقترابها ، رسوبات مرنة ، أو قد ترصّان رزمة من صخور متبلورة صلدة ، ولكنها منفصلة عن جذرها بفعل الجهد الحاصل نتيجة الضغط الجانبي . فتشكل جبال الألب يفسر بحركة ترس ، كان يحتل مكان سهل البو pô الحالي ، باتجاه الكتلة المركزية الفرنسية ونحو كتلة بوهيميا . وهكذا تشكلت اغشية جرف مؤلفة من صخور رسوبية او متبلورة[٢٨] والى جانب نشوء السلاسل بفعل هذه الدفعات المسماة مماسية ، اضيف فيما بعد تفسير الكثير

---

(٢٨) الالتواء لا يكون الا في الصخور الرسوبية وعلى درجة أقل بكثير في الصخور الاستحالية أما الصخور المتبلورة كالغرانيت مثلا فلا تتحمل الالتواء اطلاقا بل تتكسّر ومن ناحية اخرى لا يحدث الالتواء الا تحت سطح الماء الذي يمنح الطبقات الرسوبية المرونة الكافية .



(شكل ٧٢) ـ تشكل طيات وحوادث جرف حسب نظرية تكتونيك الثقالة : هنا نجد رزماً من طبقات تنزلق فوق خاصرة كتلة ناهضة . فالرزمة م التوت . اما الرزمة غ فقد اقتلعت وانزلقت فوق م (المحلية) وشكلت غشاء جرف . بيد أن هذه النظرية لا تفسر سبب النهوض الذي يمكن أن يكون بدوره ناتجا عن دفعة شاقولية أو جانبية .

من الطيات والاغشية بفعل انزلاق الثقالة gravité (شكل ٧٢) فكثير من الطبقات والاغشية انما انزلقت بكل بساطة بفعل الثقالة من النقاط العالية نحو النقاط الواطئة ، وهي **نظرية تكتونيك الجريان** ، او **تكتونيك الثقالة** التي ظهرت في عام ١٩٣٨ ولقيت رواجا كبيرا ابتداء من عام ١٩٤٨ . فبعض الصخور كصخر الفليش ذي البصمات الدودية Helminthoidesفي جبال الالب الفرنسية الجنوبية ، قد جرت كليا وكأنها كتلة من الزفت ، كما ان صخوراً أخرى سالت فوق طبقات غضارية لعبت دور سطح تشحيم زلق . وتكون حركة الصخور هذه ، بالطبع ، بطيئة للغاية ، وحياتنا التي تمتد لبضع عشرات من السنين تبدو مفرطة القصر بالنسبة لمشاهدة ذلك . فنحن في وضع عالم لا يعيش سوى واحدا من المليون من الثانية والذي يتأمل امواج البحر ، فهو سيخلص بالتأكيد الى أنها عديمة الحركة[٢٩] ، ولكن لا يمكن نكران أن الاجسام الصلبة تتصرف كسوائل . فالصخور تتشوه كقضيب من الشمع ، الذي

(٢٩) يعود ظهور الانسان لحوالي مليون سنة ولكن عمر الأرض ٤,٥ مليارات سنة . فلو افترضنا أن تاريخ الارض اقتصر على سنة واحدة فمعنى ذلك أن الإنسان ظهر في الساعتين الاخيرتين وكل الفترة التالية للميلاد لا تحتل اكثر من ١٥ ثانية اخيرة في السنة المذكورة اي يعادل عمر الانسان ٠,٦ من الثانية بالنسبة لعمر الارض الذي افترضناه سنة واحدة .

يبدو مظهره صلدا ، وضعناه فوق حاملتين ، والذي ينعطف في خلال بضعة ايام ، تحت وطأة وزنه الذاتي . وهكذا أمكن تفسير الكثير من التواءات وظواهر الجرف وكأنها انزلاقات ، تتمّ كتجعد قماش سميك كان ممدودا فوق طاولة ثم رفعنا طرف الطاولة من جانب واحد . وهكذا التوت طبقات الغراند شارتروز Grande Chartreuse في غربي جبال الألب وانزلقت على خواصر الكتل الوسطى المتبلورة في جبال الالب بينما كانت هذه الكتل آخذة في النهوض . وقد انجرف غشاء شابليه Chablais في حين كانت كتلة جبل مون بلان وهوامشه تتعرض للنهوض او كالتواء جبال زاعروس على أثر نهوض نواتها الغرانيتية والاستحالية في ايران .

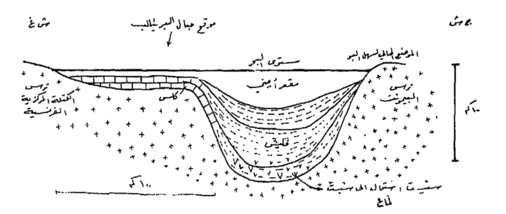
وهكذا نقبل اليوم بحركات الارتصاص والانزلاقات التي تعتري الطبقات على خواصر التضاريس الناشئة .

خامسا ـ سلاسل طيات الغطاء وسلاسل المقعرات الارضية أو طيات القاع

في الحقيقة تكون طرائق الالتواء متعددة وعلينا ان نميز من السلاسل :

ـ السلسلة التي أصاب الالتواء فيها الطبقات الرسوبية الرقيقة دون ان يعتري ذلك اعماق الارض او ركيزتها مثال ذلك جبال الجورا الفرنسية ، وجبال الاطلس الاوسط في المملكة المغربية والسلسلة التدمرية في سورية وجبال حمرين في العراق .

ـ السلسلة التي تشكلت طياتها بفعل ضغوط حصلت في الحفر الارضية السحقية أي المقعرات الارضية géosynclinaux . ويبلغ طول المقعر الارضي عدة مئات من الكيلو مترات ويمتد عرضا على بضع عشرات من الكيلو مترات ويتصف قعره بحركيته . فقد غاص هذا المقعر واستقبل مقادير هائلة من



(شكل ٧٣ ـ تشكل سلسلة جبلية في المرحلة الأولى : الترسب

المهد الذي سيتحول الى سلسلة البية . مقطع في الدور الثاني قبل الالتواء . فعلى اليسار فوق موقع جبال ما قبل الالب الفرنسية العتيدة تتوضع الصخور الكلسية . والبحر هنا ضحل كما لا يجنح قاعه نحو الخفس . على اليمين فوق موقع الحدود الفرنسية الايطالية يوجد مقعر ارضي . وهنا يكون البحر عميقا ويجنح قعره نحو الانخفاس كما يتزايد سمك الطبقات كلما ازداد خفس القعر : وتتألف الرسوبات من صخور الفليش التي تتعرض للاستحالة في الاعماق كي تعطي صخور الشيست اللماع .

الرسوبات[٣٠] ، وخاصة من صخر الفليش ، قبل ان تتعرض الرسوبات المذكورة للالتواء وقبل ان تتعرض عموما ، ان لم نقل دوما ، لحركات الجرف .

وتختلف السلسلة التي تتشكل في مقعر ارضي عن سلسلة غطائية لا لأن الرسوبات الملتوية تكون سميكة جدا فحسب بل لأن قاع المقعر الارضي المؤلف من صخور أقدم من الطبقات المترسبة فوقه ، يتعرض ذاته للضغوط التكتونية . وفضلا عن ذلك فان الرسوبات التي تتكدس في الحفرة تتعرض للاستحالة بسبب الانضغاط وشدة الحرارة . وهكذا نجد أن صخور الشيست اللماع عند الحدود الايطالية الفرنسية كانت عبارة عن صخور رسوبية

(٣٠) قال الامام الرازي : « الاشبه أن هذه المعمورة كانت في سالف الازمان مغمورة في البحار فيها طين لزج كثير فتحجر بعد الانكشاف وحصل الشهوق (أي الارتفاع ونهوض الأرض) بحفر السيول والرياح ولذلك كثرت فيها الجبال . ومما يؤكد هذا الظن انا نجد في كثير من الاحجار اذا كسرناها اجزاء الحيوانات المائية كالاصداف والحيتان » من كتاب شرح المواقف لابي بكر الرازي .

استحالت في اعماق المقعر في اواخر الدور الثاني وفي مطلع الدور الثالث (شكل ٧٣ و ٧٤) .

شكل ٧٤ ـ تشكل سلسلة جبلية في المرحلة الثانية : الالتواء

السلسلة نفسها التي رأينا في الشكل ٧٣ ولكن في الدور الثالث . فقد حدثت ضغوط جانبية وانزلاقات بفعل الثقالة ادت الى التواء وحتى الى جرف صخور مختلفة . وقد انكش البحر وتحول الى اخدود فوق موقع ممر نهري الساون ـ الرون وفوق موقع بحر الآدرياتيك الذي كان اكثر امتدادا باتجاه الغرب مما هو حاليا اذ كان يصل حتى مدينة تورينو . وقد توضعت في هذين الذراعين البحريين صخور المولاس (م) والصخور الرملية والغضاريات (ر غ) .

وهكذا نلاحظ اذن من الشمال نحو الجنوب الشرقي ، أي من اليسار الى اليمين الاجزاء التالية :

١ ـ منطقة متبلورة خارجة عن الالب ، وهي الكتلة المركزية الفرنسية .

٢ ـ ذراع بحري سيتحول بعد قليل الى سهل الساون والرون .

٣ ـ جبال الالب التي تشتمل على :

آ ـ جبال مقدمة الالب ، سلسلة غطائية مؤلفة من صخور كلسية .

ب ـ الكتل المركزية الالبية (بللودون ، مون بلان) والتي تمثل القاع المتبلور القديم في المقعر الارضي .

جـ ـ نطاق فليش ملتوي .

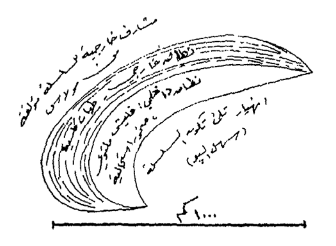
د ـ نطاق صخور شيست لماع ، وصخور استحالية مجروفة .

٤ ـ في شرقي الالب ، حصل انهيار كبير ادى الى انخفاض ترس البيمونت piémont القديم ، فاحتله البحر وراح يرتدم بالانقاض الهابطة من جبال الالب .

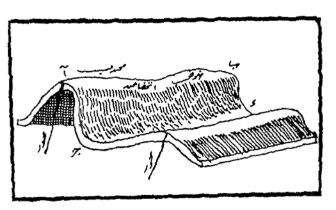
ونلاحظ أن عرض السلسلة اصبح ، بفعل الضغوط الجانبية ، يقل عن عرض الترسب الذي سبقها ونلاحظ ايضا ان جبال الالب ليست سلسلة مقعر ارضي (جيوسنكلينالية) الا بصورة جزئية (في الشرق) . أما القسم الغربي (مقدمة الالب) فهي سلسلة من طيات غطاء .

امـا في المقعر الارضي فنميز قسما داخليـا ، أي الجزء الواقع في داخل القوس الذي يرسمه شكل الحفرة ، والذي يكون منحنيا على العموم ، وجزءا خارجيا ، اي الجزء الواقع من الطرف الخارجي للقوس . فـالنطـاق الـداخلي يتـألف من صخر الفليش ، ومن صخـور استحـاليـة تشكلت في المقعر الارضي ومن صخـور متبلورة اخرى هي اجزاء من قاع المقعر الذي نهض وتكسر نتيجة الانضغـاط . اما النطاق الخارجي فيتشكل خاصة من صخور رسوبية كلسيـة غير متحولـة . وقد تحصل حوادث جرف في كلا النطاقين (شكل ٧٥) .

وبـالاختصـار نـلاحـظ نمـوذجين كبيرين من السـلاسـل الجبليـة : نمـوذج الجورا ، وهي سلسلـة مـؤلفـة من صخـور رسـوبيـة ملتـويـة وقـد تحـوي على تعقيدات تفصيلية ، ولكنها لا تعتري الاعمـاق ونجـد مثيلهـا في جبـال الاطلس الصحراوي الجزائري وفي جبال حمرين في العراق والسلسلة التـدمريـة وجميعهـا مؤلف من طيات غطائية ، ونموذج جبال الالب ، حيث يكون جزء منهـا من اصل جيوسنكلينالي وتحوي على نطاق داخلي شديـد التبلور ونطـاق خـارجي مؤلف من صخور رسـوبيـة ، تغلب عليهـا الكلسيـة ، غير الاستحـاليـة ، وهي



(شكل ٧٥) ـ وضع النطاقين الداخلي والخارجي في سلسلة البية نموذجية (شكل مستو) لم نمثل هنا القاع القديم للمقعر الارضي الذي انبثق واعطى كتلا مركزيةً متبلورة . وقد يظهر عند تماس النطاقين ، وحتى في النطاق الداخلي .



(شكل ٧٦ ـ تعريف مختلف اجزاء الطية

آ ب : مفصلة محدبة . جـ د : مفصلة مقعرة . انخفاض : انخفاض المحور « سرج » . نهوض : نهوض المحور .

نموذج عن طيات القـاع ، مثل هيمالايـا وطوروس والاطلس الكبير في المملكـة المغربية الخ ...

سادسا ـ تعريف بعض عناصر البنى الملتوية .

في كل سلسلة غطـائيـة كجبـال السلسلـة التـدمريـة ، او جبــال الجـورا الفرنسية ، وايضـا في بعض اجزاء السلاسل المعقـدة كجبـال الالب أو زاغروس أو طوروس ، نجد عناصر يبدو من المناسب أن ندرس بنيتها (شكل ٧٦) .

لنفترض ان امامنا زمرة متعاقبة من طيات منتظمة . فنطلق كلمة **مقعر** synclinal [٣١] على النطاق الذي تميل فيـه الطبقـات من كل جـانب نحو القسم الاوسط .

اما عبارة **محـدب** anticlinal فتعني نطـاقـا تميل فيـه الطبقـات من اتجـاه متنافر ، اي من جانبي القسم الاوسط .

أما **المفصّلة المقعرة** ، **والمفصّلة المحدبة** فهما الخطان اللـذان يتغير ميل الطبقات عندهما . وبين المفصلة المحدبة والمفصلة المقعرة تقع **خاصرة** الطية .

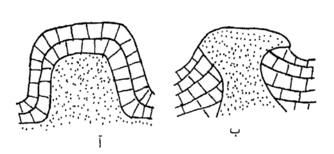
(٣١) مأخوذة من الاغريقي sun ومعناها مع و Kleinen يميل .

اما منصّف الزاوية المؤلفة من خاصرتي المحدب فيدعى **المحور** او بالاحرى **مستوى الطية المحوري** . واذا كانت الخاصرتان متناظرتين فان المحور يكون **عموديا** . بيد أن الطيات تكون احيانا غير متناظرة ، حتى ليمكن ان تكون **نائمة** .

ومهما كان انتظام الطيات فان المفصلة المقعرة (السنكلينالية) والمفصلة المحدبة (الانتيكلينالية) لا تظلان دوما على نفس الطبقة الشاهدة ، وعلى ارتفاع ثابت ، بل يحدث ان نرى **انخفاضات** (وهدات او سروج) **ونهضات** او حدبات **في المحور** ، اي يعتري محور الطية ما يصيب حبلا متموجا اي تحدث عليه ظهور وبطون . وقد ينتج كلاهما احيانا عن تداخل قوتين تكتونيتين متواقتتين (متزامنتين) ولكنهما متميزتين تحققتا في اتجاهين مختلفين ، وعندها نقول اننا تجاه تداخل interférence **حزمتين** من الطيات . وعلى كل حال لا يستمر محدب او مقعر على مسافة كبيرة الا فيما ندر . فاذا واكبنا محدبا ما فانه قد يتحول الى مقعر يتمدّد بدوره بمحدب ثان وهكذا دواليك .

ملاحظة : ان كلمة مقعر لا تعني منخفضا . فقد تتألف قمة ما من مقعر ، رغم أن طبقاته تحوي على تشوه مقعر نحو الاعلى ، كما قد يشكل محدب ما منخفضا .

فكل الطيات ليست بمثل البساطة التي افترضناها ، فليس هناك في العالم مناطق متشكلة حسب المخطط النظري ، اي من تعاقب منتظم من طيات مستقيمة . فقد تكون الطيات احيانا **مسكوبة** deversés اي تخلق تضريسا وحيد الميل monoclinal كجبل قاسيون ، كما يمكنها ان تتخذ شكل **مروحة** ، او على شكل **صندوق** coffré ، اي ذات قمة مسطحة وذات جانبين شديدي الميل كما لو كانا يتوجان هورستا (شكل ٧٧ آ) ، او على شكل **قبة** . هذا وقد تتخذ



(شكل ٧٧) ـ طية صندوقية ، ب : طية ثاقبة .

طبقة مرنة شكلا التوائيا **مقروصاً** en pincée في حفرة تجنح نحو الانغلاق كوادي هريرة إلى الشرق من بلودان ، واحيانا تكون الطية على شكل طية **ثاقبة** diapir ، اي ان طبقة مرنة منضغطة ، مثل طبقات البرموترياس الغنية بالملح ، تبقر المحدب وتنتشر فوق طبقات عليا من وجهة النظر التطبقية (الستراتيغرافية) (شكل ٧٧ ب) . هذا وتحدث **تراكبات** اي صدوع مائلة تجعل كتلة تمتطي اخرى ، او **صدوع** بسيطة تؤدي لتعقيد البنية ، كما هي حالة القسم الغربي من جبال الغراند شارتروز في الالب الغربية او في جبل عبد العزيز وجبل تربل قرب طرابلس .

واخيرا فان ظاهرات الجَرف تمثل حالات قصوى من التعقيدات ، ولكنها ليست نادرة .

سابعا ـ سلسلة جبلية تتحول الى ركيزة (ترس)

لكي تتشكل سلسلة التوائية ما يجب ان تكون الصخور الملتوية مرنة ، فبعض الصخور ، كالغضاريات هي مرنة دوما ، في حين ان بعض الصخور الاخرى ، كالصخور الكلسية مثلا ، تكون مرنة اذا كانت تحت ضغط ما ورطبة ، وعلى عمق بضع مئات الامتار ، ولا سيا اذا كانت سافات الكلس سميكة ، اما الصخور المتبلورة فلا تكون مرنة الا اذا كانت تحت اعماق كبيرة .

وينتج عن ذلك ان تشكل سلسلة جبال تعتري سماكة بضعة آلاف الامتار يمكنه ان يصيب ايضا قسما من الصخور المتبلورة المرنة . ولكن بعد تشكل السلسلة فان الصخور التي سبق ان تعرضت للانضغاط وانحصرت بين بعضها البعض في تجعدات تكتونية ، اقول تستطيع هذه الصخور المذكورة ان تؤلف مجموعا صلدا . وهكذا نفسر كيف أن آخر مرحلة في تشكل السلسلة تكون عبارة عن حركة اجمالية دون التواء ، كالمراحل الحديثة التي منحت السلاسل الهيمالائية وجبال الآند وجبال الآلب ارتفاعها الحالي . وفضلا عن ذلك فإن الجبال يمكنها عندئذ ان تتكسر ، وتنهض على شكل كتل صلدة مصدعة ، قد تتقاطع احيانا مع اتجاهات الطيات .

وبينما تأخذ السلاسل في العلو فان الحت يعمل فيها وينتهي به الامر الى سحجها وعندها تتحول السلسلة الى عتبة او سطيحة plate - forme أي الى ترس عاجزة عن تحمل التواءات ذات نصف قطر انحنائي ضعيف بل تكون مؤهلة فقط للتعرض لتشوهات ذات نصف قطر انحنائي كبير مصحوبة احيانا بكسور . وهكذا امكن مقارنة هذه الصخور المتصلبة بالزجاج ، بينما تكون المواد البدائية في السلسلة مماثلة لشفرات او لكتل من المطاط . ويقال ان السلسلة اصبحت ركيزة .

هذا ولم تتحول السلاسل الالبية ، التي يعود عمرها للدور الثالث ، لم تتحول بعد الى ركائز ، ولكن السلاسل البدائية السابقة للدور الاول كالسلاسل الكاليدونية الموجودة عند الحافة الغربية لشمالي الاطلنطي والسلاسل الهرسينية التي اعترت طبقات الدور الاول قبل العصر الفحمي او احيانا قبل البرمي ، فهي عبارة عن ركائز كاملة أو تروس shields .

وهكذا ندرك كيف تتشكل القارات من تجاور وتلاصق سلاسل متعاقبة .

فكل سلسلة تقوم عند حافة القارة تتحول الى ركيزة . وتقوم السلسلة التالية بدورها عند حافة القارة التي تكسب اراض جديدة وهكذا دواليك . وعلى هذا نجد ان السلسلة الكالديونية الواقعة في اقصى شمال غرب اوربا قد تصلبت في اواسط الدور الاول ، بحيث أن السلسلة الهرسينية لم تستطع ، في اواخر الدور الاول ، ان تقوم الا الى الجنوب من ذلك ، وبعدئذ تصلبت السلسلة الاخيرة وتولدت السلسلة الالبية الى الجنوب منها . ولكن في الحقيقة يمكن ان تتشكل سلسلة جديدة ، كما رأينا ، فوق جزء قديم من الركيزة الذي يعود فيصبح غير مستقر ويغوص .

ان ركيزة ما يمكنها ان تكون مغطاة برسوبات ، متوضعة فوق القارة او تحت البحر خلال فترة عوم . وعندها نقول انها تحمل **غطاء** . هذا الغطاء يكون **متنافرا** discordante بالنسبة لها ويرقد فوق سطح حتي أي ليس هناك من تطبق متوافق يبتر الطيات القديمة او جذور السلسلة القديمة ، كحال الغطاء الرسوبي الذي يغطي الركيزة العربية ابتداء من اواسط نجد ويمتد شمالا حتى اقدام جبال طوروس .

هذا ويمكن ان يرتفع جزء من الركيزة بفعل حركات انكسارية الى ارتفاعات شاهقة : وهكذا تولدت **الكتل القديمة** التي تعتبر جبال الحجاز وجبال البحر الاحمر في مصر والكتلة المركزية وجبال الفوج ، وجبال المانيا الوسطى ، وكل الجبال البريطانية وجبال الابالاش كأمثلة عنها . ولم تنتج ارتفاعاتها عن انخفاض تدريجي حتى ٥٠٠ ، او ١٠٠٠ او ١٥٠٠ م من ارتفاعات بدائية كانت تبلغ ٦٠٠٠ أو ٧٠٠٠ م بل نتجب بالاحرى عن نهوض بلغ ٥٠٠ أو ١٠٠٠ او ١٥٠٠ م نهوض اعترى سطحا سبق أن براه الحت حتى سوية سطح البحر احيانا . وقد تكون حركات الإنهاض exhaussement حديثة جدا .

ولهذا يجب **تحريم كلمة جبل قديم** التي كانت تستعمل بالماضي ، والافضل ان نقول **كتلة تصلّب قديم** او للتبسيط **كتلة قديمة** massif ancien . فعمر هذه الكتل لا يعود للدور الاول شأن حجارة الجامع الاموي في دمشق التي تعود للدور الثاني ، والواقع هو أن صخورها تعود للدور الاول او لما قبل الكامبري شأن حجارة مسجد بني امية التي تعود للدور الثاني ، ولكن الحركات التي منحتها ارتفاعها الحالي تعتبر حديثة وغالباً في الدور الثالث كالجامع الاموي الذي تم تشييده في القرن الثامن الميلادي . كما انه من خطل الرأي الاعتقاد بأن كل سلسلة البية تبدو على شكل ذرا حادة وأن كل كتلة تصلب قديم لا تحوي سوى اشكالا ثقيلة عديمة الرشاقة . وبالفعل فان اشكال الذرا الحادة لا تعود ، كما سنرى ، للبنية بل الى نموذج حتّي يلعب فيه الانجاد دورا مهما . وهكذا يمكن للكتلة القديمة ان تحتوي على اعراف كحال منطقة بلاد الغال او في منطقة كمبرلاند الانكليزية . وعلى خلاف ذلك فان احدث جبال سوريا كتل الشيحان البركاني الرباعي او جبل المانع البليوسيني او تل أبو الندى فلها جميعا اشكالا شديدة الاستدارة . هذا كما أن الارتفاع لا يمكن اعتباره قرينة تسمح بمقارنة سلاسل البية بكتل قديمة : فجبال تيان شان التي تتجاوز ٧٠٠٠ م وسروات الحجاز وعسير التي تتجاوز ٣٠٠٠ م هي جزء من ركيزة منهضة بينما ان جبل حمرين الذي لا يتجاوز ارتفاعه بضع مئات الامتار يعتبر من حيث بنيته جزءا من السلسلة الالبية .

ثامنا ـ الاحواض الرسوبية

لقد رأينا أن ركيزة ما يمكن ان تكون منخفضة بفعل حركات اعقبت تسويتها وان تتغطى بالبحر . واذا كان تكدس الرسوبات يشير الى جنوح نحو الغوص ، أو نحو الانكباس subsidence كما يقال ، بحيث أن الركيزة تغوص

تحت توضعات سميكة ، فاننا نكون أمام **حوض رسوبي** كالحوض الباريسي او حوض حلب . واذا اصبح الحوض الرسوبي شديد العمق فانه يتحول الى مقعر ارضي geosynclinal كسهل العراق الادنى . ومن هذا نرى ان ركيزة ما يمكن ان تعود فتصبح قعر حفرة تحتضن وتتولد فيها سلسلة البية .

اذن هناك كل الاشكال الانتقالية بين ركيزة مغطاة قليل السماكة وبين حوض رسوبي وبين مقعر ارضي . وهكذا نستطيع ، حسب وجهة النظر الخاصة ، اعتبار هضاب الاطلس الاوسط الغربية وهضاب نجد الشرقية كأحواض رسوبية او كأغطية ركيزة .

هذا ويمكن ان تحصل في الاحواض التي يكون للرسوبات فيها سماكة متوسطة ، حوالي الف متر مثلا ، ومرونة متوسطة ، أن تحصل التواءات ، ولكنها التواءات متواضعة دوما ، وبلاد منطقة براي Bray او هضبة الجلالة في غربي قناة السويس من اوضح الامثلة عن هذا الطراز من الالتواءات اللاطئة .

تاسعا ـ الكسر : نموذج عن حادث مشترك في السلاسل ، وفي الركائز ، وفي الاحواض الرسوبية .

يمكننا العثور على الكسور في كل الصخور سواء كانت رسوبية او لم تكن . فعندما يتجاوز الضغط التكتوني حد مرونة معين فان الصخور تتكسر .

وعلينا ان نميز الكسر التكتوني عن :

١ ـ الفصمة diaclase .

٢ ـ عن كسر انشطار سطحي ناجم عن اختلافات الحرارة او عن الانجماد .

ونميز بين الكسور التكتونية مايلي :

١ ـ الكسور الخالية من تفاوت المستوى التكتوني بين شفتي الكسر : وهي التخلعات fractures .

٢ ـ الكسور التي تكون مصحوبة بتفاوت مستوى تكتوني بين الشفتين ، تلك هي الصدوع او الفوالق failles . ونستعمل عبارة تفاوت مستوى تكتوني وليس تفاوت مستوى فقط لان فارق الارتفاع يمكن ان ينعدم في التضريس ، هذا اذا كان الحت قد سحج كل السطح ، كما سنرى ذلك بعد قليل .

هذا وقد لا يؤدي الجهد التكتوني الى انقطاع بنيوي كامل بل يبدو فقط على شكل ثني ployage فجائي مع مط في الطبقات على طول مستوى الحادث accident تلك هي الثنية flexure التي تؤلف مرحلة انتقالية بين الصدع والطية .

وقد تنجم بعض الكسور عن زلازل : وهكذا نرى الارض وهي تتشقق ، واحيانا يتشكل صدع مع فاصل طبغرافي بين الشفتين : كما حدث في كالابريا الايطالية عام ١٧٨٣ وفي اليابان سنة ١٨٩١ حيث شوهدت حوادث مماثلة . ولكن الاغلب ان يتحرك الصدع ببطء ولا يبلغ الافتراق بين الكتلتين حده الاقصى الا بعد آلاف أو ملايين السنين شأن هبوط قاع البحر الأحمر فقد وجد تجاه ميناء جدة مستعمرات مرجانية على عمق ٥٠٠ م مع ان المرجان لا يتشكل إلا بجوار سطح الماء ، مما يشهد على هبوط مقداره نصف كيلو متر خلال شطر من الدور الرابع فقط . اذن علينا ان نميز تحويرات التضريس التي تحصل بفعل الحت والتراكم وذلك ليس بعد تشكل صدوع مماثلة بل ايضا اثناء تشكلها .

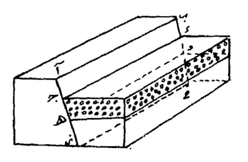
ولكن علينا قبل كل شيء تعريف بعض العبارات لدراسة الصدع باعتباره حادثا بنيويا .

١ ـ **تعاريف** (شكل ٧٨) : **مستوى الصدع :** انه المستوى الذي حدث على طوله انزلاق الكتلتين المتفاوتتي الارتفاع . ويندر ان يكون مستوى الصدع عموديا فالغالب ان يكون مائلا . وفي الواقع يمكن ان يكون للمستوى المذكور سماكة معينة ينطبق على نطاق الجرش broyage وحينئذ لا يكون عبارة عن مستو حقيقي بالمعنى الهندسي ، بل يمكن تمثيله بمستوى ، عندما نحاكم الامر على مقياس كبير . كما أن « المستوى » يمكن أن يكون سطحا محروفا قليلا .

ويطلق احيانا اسم مرآة الصدع على جزء من مستوى الصدع المكشوف والمصقول بفعل الانزلاق .

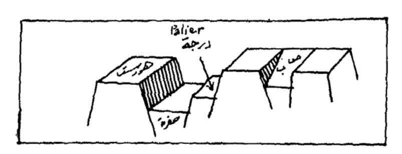
خط الصدع : اثر مستوى الصدع على السطح الطبغرافي .

الرمية : وهي قياس تفاوت المستوى التكتوني ، اي المسافة بين نقطتين شاخصتين repères (مثلا نقطتان واقعتان على نفس المستوى الستراتيغرافي) واللتين كانتا على نفس المستوى على طرفين مستوى الصدع قبل تحرك الصدع المذكور . هذا وقد لا يكون مجموع الرمية مرئيا مثلا اذا حدث ردم فوق الجزء الخافس بصورة يحجب معها قاعدة مستوى الصدع . كما وقد تختلف قيمة الرمية ، أي مقياسها ، على طول خط الصدع .



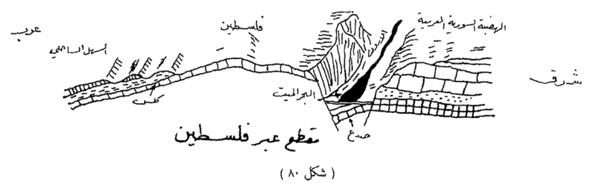
(شكل ٧٨) : صدع

آ هـ ـ رمية . آ ب ح ز ـ مستوى الصدع . حـ د ـ خط الصدع . آ حـ د ب : نظارة الصدع .



(شكل ٧٩) ـ نماذج من الكتل « الحجرات » وحفرة = غرابن

ص ب : اصبع بيانو



(شكل ٨٠)

نظارة صدع : وهي الجانب الذي تقع في اتجاهه الكتلة المنخفضة . وتستطيع بضعة صدوع ان تجزئ منطقة ما : فقد نرى حجرات تشكل **درجات** paliers (صدوع **درجية** أو سلّمية en gradins)[١] وحجرات منهضة بفعل الصدوع (وتسمى **هورستات**) ، وحجرات خافسة . وتعرف الحجرات الخافسة ، فيما اذا كانت ذات شكل متطاول ، بالحفرة التكتونية او **بالحفرة الانهدامية أو غرابن** بالالمانية (شكل ٧٩) . وتخصص عبارة **حوض انهدامي** لشكل اقل استطالة او اكثر تعقيدا ، ولكنها تستعمل ايضا عند الكلام عن حفرة وذلك عندما نكون في معرض التحدث عن الترسب . امثلة عن الحفر : حفرة الغاب ، حفرة الغور (شكل ٨٠) ، حفرة الرين الاوسط بين جبال الفوج والغابة السوداء .

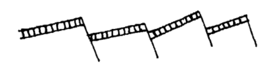
---

(١) ولهذا تطلق عبارة الغات (ومعناها السلالم) على الجبال الانكسارية الواقعة قرب الساحل الغربي من شبه القارة الهندية .

٢ ـ الأنماط التكتونية في المناطق المصدعة : يمكن أن يكون مشهد منطقة مكسرة مختلفا جدا حسب الطراز التكتوني . فالكتل أو الحجرات المنفصلة بصدوع يمكنها أن تظل أفقية أو تكون مائلة ، فجبل الزاوية في إجماله يبدو كحجرة جانحة أنهضت بفعل صدع من الغرب ولكنها تغطس بلطف تحت رسوبات حوض حلب من الشرق وكذلك الحال بالنسبة لكتلة جبل العلويين المائلة غرباً . وعند النظر إلى تفاصيل جبال الحجاز نجد أن تضريسها ينقسم ذاته إلى عدة حجرات تكون محصلتها العامة مظهرا عاما مائلا نحو الغرب . ويمكن قول نفس الشيء عن جبال اليمن التي تميل إجمالا من الشرق للغرب والمقطعة تفصيليا بالعديد من تفاوتات المستوى التكتونية . وتكون مؤلفة من تعاقب حجرات وحيدة الميل إذا كان لجنوح basculement الحجرات دوما نفس الاتجاه (شكل ٨١) ولمنطقة ماكونيه Maconnais الفرنسية نفس البنية .

ونطلق تعبير حفرة على شكل أصابع البيانو عندما يكون قاعها مؤلفا من حجرة جانحة والتي خفست على شكل أصبع بيانو ضُغِطَ عليه بين اصبعين ظلا مستقيمين كحجرات الساحل السوري اللبناني في الخلجان والمهشم بصدوع عرضانية (شكل ٧٩) .

هذا ويكون مرتسم خطوط الصدع متباينة جدا ، فلخطوط الصدوع أشكال هندسية في أكثر الأحيان: فتكون مستقيمة ، شبه مستقيمة أو على شكل



(شكل ٨١) ـ كتل أو « حجرات » وحيدة الميل نتيجة صدوع معاكسة .

قوس دائرة . وقد تعطي صفوفا من الحفر أو ميادين حقيقيـة من التخلعـات ، وفسيفساء فعلية من الحجرات .

تلـك هي العنـاصر الرئيسيـة التي سنرى أثر عمـل الحت عليهـا : فــالحت يكيّف أشكالاً مختلفة ويمنحها تقاطيع معينة سندرس تطورها .

☆ ☆ ☆

الفصل السابع

التضاريس الناتجة عن بعض البنى البسيطة

تمهيد : لقد أخذنا بعين الاعتبار ، وذلك خلال الفصل الأول حتى الخامس ، الدور الذي يكاد يكون قاصرا على الليتولوجيا . وفي معرض كلامنا عن البركنة فقط ، استطعنا عزل صخور التضريس عن أوضاعها وارتصافها disposition وسنفترض في هذا الفصل وفي الفصل التالي أن الصفات الخاصة بالصخور أصبحت معروفة وسندرس التضاريس الناجمة عن أوضاع الصخور المذكورة ، وسنعالج بادئ ذي بدء أكثر البنى بساطة .

أولا ـ الطبقات المتوافقة غير المصدعة : زمرة المقاومة المنسجمة .

من بين بنى الطبقات الرسوبية المتوافقة concordantes غير المتصدعة هناك حالتان تستحقان الذكر :

- إما أن تكون مقاومة الطبقات منسجمة .
- أو نكون أمام طبقات طرية متناوبة مع طبقات قاسية .

فالحالة الأولى تتمثل بزمر طبقية سميكة تقع على العموم في السهول المتشكلة من رسوبات متوضعة عند أقدام السهول شبه الالبيه subalpines وأفضل أمثلة ذلك يقدمه القسم الشمالي من سهل الجزيرة العليا السورية . ولكننا نجد أمثلة مشابهة على طول جبال الألب ، في سويسرا والنمسا وفي بافييرا وعلى طول جبال الكربات في بولونيا وفي أوكرانيا وفي رومانيا .

وفي سهول كهذه يكون الحت عاجزا عن ممارسة حت تفاضلي ، بل يكتفي بتقطيع عراقيب ، ويزداد عرض الأودية بصورة متفاوتة ، فهي تزداد عرضا بشكل فريد كلما كانت مجاري الماء غير مستقرة وذات سرر فيضان عريضة كوادي الجغجغ في الجزيرة ، أو في سهل تارب Tarbes في سهل اكيتانيا حيث يجري نهر الآدور .

وعلى العكس ، إذا كانت الزمرة الرسوبية مؤلفة من طبقات مختلفة القساوة ومتناوبة في تنضيد منتظم إلى حد ما ، فإن الحت يعمل بصورة متفاوتة في الصخور الطرية وفي الصخور المقاومة . تلك هي حالة الأحواض الرسوبية كحوض نجد الشرقية ابتداءً من القصيم أو الحوض الباريسي أو سهل انكلترا الكبير ، أو حوض صوآب ـ فرانكونيا في ألمانيا الجنوبية . ويقودنا تنوع الأشكال ، في هذه الحالة ، إلى التشديد على اختلافات الأوضاع الطبقية المحتملة .

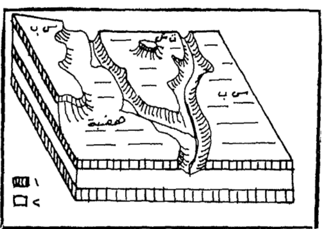
ثانيا ـ تضاريس الأحواض الرسوبية ذات الطبقات المختلفة القساوة والأفقية أو المائلة :

١ ـ **طبقات أفقية** : في زمرة من طبقات أفقية طرية وقاسية متناوبة يقطع الحت أشكالا تكون خطوطها الموجِّهة أفقية أيضا . فالمقاطع الطولانية للأنهار التي تتعمق في مناطق كهذه تحوي ، في مرحلة الشباب ، على زمرة من النشزات ressauts التي تظهر عند اجتياز طبقات قاسية وزمرة من قطاعات[٣٢] هادئة biefs فوق انكشافات الصخور الطرية ، ولكن هذه التشوشات سرعان ما تتخفف مع الزمن . وعلى العكس فإن مقطع السفوح يحتفظ ولمدة طويلة جدا بتعاقب شرفات (طبقات قاسية) وحدورات talus على درجات

(٣٢) القطاعات هنا تعني القسم الهادئ من النهر والواقع بين شلالين .

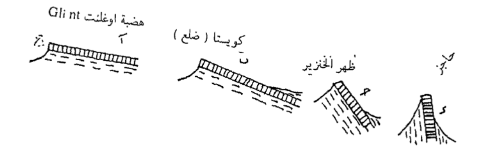
منتظمة . ويكون كل من هذه الهضاب عبارة عن ظهر طبقة قاسية كشط الحت من فوقها الطبقة الرخوة العليا : ذاك هو الشكل الذي يدعى **السطح البنيوي** . وإذا سار الحت قدما فإن تلاعا تنفصل عن الهضبة (شكل ٨٢) وتدعى **التلاع الشاهدة** .

هذا وتسمى حافة مائدة أفقية تشرف على عتبة أكثر انخفاضا عتبة بنيوية أو غلنت Glint (شكل ٨٢ و ٨٣) مثل حافة صخر بوس Beauce الكلسي فوق عتبة



(شكل ٨٢) ـ تضريس في زمرة طبقات رسوبية أفقية متناوبة القساوة

١ ـ طبقة مقاومة ، ٢ ـ طبقة طرية ، ت ش ـ تلعة شاهدة على الامتداد السابق للطبقة القاسية العليا . س ب ـ سطح بنيوي أو غلنت .

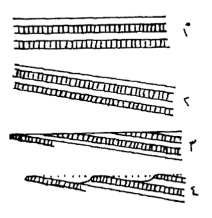


(شكل ٨٣) في ب يعتبر قفا الكويستا سطحا بنيويا . ولكن السطح كله يعتبر سطحا حتيا لأن الطبوغرافيا تقطع المستوى الفاصل بين الطبقات . ج = جال .

كلس بري Brie ورمال فونتينبلو، جنوبي باريس . وبالتفصيل يمكن أن يحوي الغلنت منظورا مستقيما أو على العكس يكون مشرشرا بالعديد من الدخلات .

٢ ـ طبقات مائلة ، الكويستات : إذا كانت الطبقات الرسوبية الطرية والقاسية ، والمتناوبة المتعاقبة ، مائلة قليلا وجانحة بتأثير تكتوني ، فمعنى ذلك أن لدينا بنية وحيدة الميل ، أي ذات ميل وحيد الاتجاه ، وستبرز جروف تسمى الضلوع (كويستات) .

وتخصص كلمة كويستا cuesta ، وهي كلمة اسبانية تعني الضلع ، لتضريس غير متناظر تحقق بوجود طبقة مقاومة مائلة بشكل لطيف ومقطوعة بفعل الحت[٣٣] . وتشتمل الكويستا على **جبهة** هي عبارة عن جرف ناجم عن انقطاع الطبقة المقاومة ، وعلى منخفض **مستقيم الميل** orthoclinale **أو لاحق** يواكب قدم الجرف ، وعلى **قفا أو ظهر** الذي ينطبق تقريبا على ظهر الطبقة القاسية المائلة وتطلق عبارة « الصفرا » على قفا الكويستا في نجد .



(شكل ٨٤) ـ مبدأ تشكل الكويستات حسب نظرية ديمارتون في ٤ المرحلة الأخيرة ظهور الكويستات .

---

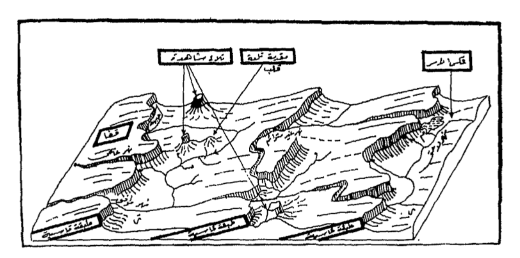
(٣٣) لا يجوز أن يتجاوز ميل الطبقة القاسية المؤلفة للكويستا بضع درجات . وعندما يكون الميل بين ١٠ درجات و ٣٠ درجة نكون أمام كريت crêts وعندما يكون الميل بين ٤٠ و ٤٥ درجة نكون أمام ظهر خنزير أو هوغ باك أما إذا كان الميل بين ٨٠ و ٩٠ درجة فنكون تجاه حاجز barre .

هـذا ويكون قفـا الكويستـا نظريـا طبقـة أي عبـارة عن سطـح بنيـوي (شكل ٨٣ ب) والواقع يندر أن يكون كذلك والأغلب أن يشطر السطح الطبغرافي الطبقـة القــاسيــة بشكل مستعرض (شكل ٨٤ ـ ٤) والـواقـع لم يقنـع الحت بكنس الطبقة الرخوة العليا ، بل عمل أيضـا بصورة محسوسـة أيضـا ، وإن كان ذلـك بسرعة أقل ، في حت الطبقة القاسية .

هــذا وقــد ينتـج قص الطبقــة القــاسيــة بفعـل الحت بشكل مستعرض biseautage عن الحت الحـالي الـذي يكيّف الأشكال المـورفـولـوجيــة ، أو عن وجود شبه سهل قديم سبق له أن بتر كل المنطقة وتصابى بعدئذ (شكل ٨٤ ـ ٣) وفي هذه الحالة يكون ظهور الكويستا مماثلا لتصابي التضريس . ويتم هذا التصـابي بسرعـات متفـاوتـة في الحت حسب اختلاف قسـاوة الصخور أي حسب قـانون الحت التفاضلي .

وتظهر جانبية profil الجبهة غالبـا وكأنهـا مؤلفـة من قسمين : ففي الأعلى تشكل الطبقة القاسية شرفة corniche ، أو منحدرا شديدا على كل حـال ، وفي الأسفـل تتكشف الطبقـة أو الطبقــات الرخـوة على شكل حــدور talus مقعر تسقط فوقه الأنقاض المقتلعة من الطبقة القاسية العليا .

ويبدو منظر الكويستا منظر تضريس مستمر لا تقطعـه سوى فتحـات أو نقوب الأنهار التي تجري حسب الميل العام للطبقـات وتحزز الجبهـة بحيث ترسم على المستوي نوعـا من قمـع (شكل ٨٥) وعنــدهـا يقـال أن النهر **متعـامـد الميـل أو موافق** cataclinale أي يوافق ميل الطبقات العام وأنـه يلج نطاق القفا **بقمع فتحـة موافقـة** مثل وادي الـدواسر الـذي يخترق كويستـا جبل طويق عند بلدة السليل في نجد أو وادي الرمة بين عنيزة وبريدة غير أن كل الأنهار لا تتبع ميل الطبقات . فبعضها تلازم قدم جبهـة الكويستـا وتسمى

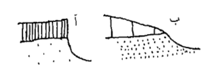


(شكل ٨٥) ـ مخطط يظهر الوضع النظري للكويستات ولشبكتها الهيدروغرافية . م ـ مستنقع ، النقاط الغامقة ينابيع ، ر.ز نهر موافق .

عندئذ **أنهارا مستقيمة أو لاحقة** . وبعض الأنهار لا تكون متوائمة مع الميل ولا مع وضع الجبهات ، مما يطرح مشكلة أصلها العسيرة . وتتغير الشبكة النهرية أثناء التطور ، فقد يتمكن نهر لاحق من أسر جزء من نهر موافق .

وقد يحدث أن نجد في مقدمة الجبهة ، أي في عالية الميل الطبقي ، نجد تلاعا مؤلفة من طبقة قاسية مماثلة لتلك التي تؤلف الكويستا ، وتشهد عن الامتداد السابق للطبقة المذكورة ، وتسمى **التلاع الشاهدة** كتلك التي يقع فوقها مسجد الشيخ أبو بكر في حلب ، وما أن تتلاشى تلك القبعة الصخرية القاسية حتى تأخذ التلعة بالانحطاط فتسمى عندئذ **مقدمة تلعة** أو كديوة كتلك التي تقوم فوقها قلعة حلب ، وتسمى القلب في تونس الجنوبية .

عوامل تمايز الكويستات : ما دامت جبهة الكويستا هي نتيجة للعمل الحتي فهي تتراجع حسب وتيرة تختلف باختلاف الأمكنة : إذ تتقهقر بسرعة حينما يهاجمها الحت التراجعي لنهر ما بفعل تراجع ينبوعه مثل وادي معلولا ولاسيما النهيرات العاصية obséquentes . ولهذا تتخذ جبهة الكويستا أحيانا منظرا مشرشرا .



(شكل ٨٦) ـ جانبية كويستا في حالة وجود اختلاف كبير في المقاومة بين طبقة قاسية وطبقة رخوة (أ) . وفي حالة قلة الاختلاف في المقاومة (ب) .

بيد أن الكويستات لا تتكيف مطلقا حسب نموذج واحد ، وهكذا يمكننا أن نميز **خمسة عوامل في التمايز :**

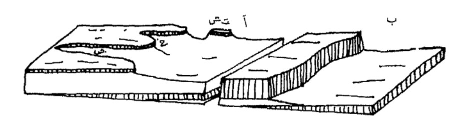
آ) نسبة القساوة بين الطبقة القاسية والطبقة الرخوة اللتين تؤلفان تضريس الكويستا (شكل ٨٦) .

ـ فإذا كان اختلاف المقاومة في كلا الطبقتين كبيرا جدا فإن الكويستا تكون واضحة جدا في التضريس . وعندئذ تشتمل على شرفة واضحة مثل الكلس الأيوسيني في كويستا معلولا أو الكلس الجوراسي في جبل طويق .

وعلى العكس إذا كان إختلاف القساوة بين الطبقة القاسية والطبقة الرخوة ضئيلا فلا نجد أي شرفة تلفت النظر وهنا تقدم لنا الكويستا جانبية محدبة في الأعلى ومقعرة في الأسفل ولا تلعب دورا بارزا في المشهد الجغرافي . تلك هي حالة كويستا شمبانيا الحوارية في شرقي باريس .

ب) السماكة النسبية في كل من الطبقتين (شكل ٨٧) .

ـ إذا كانت الطبقة القاسية رقيقة وترقد فوق طبقة طرية سميكة فإن تخريب الكويستا يكون سهلا وعندها يتراجع الدرع القاسي الرقيق بسرعة فيكون مرتسم الكويستا شديد التعرج . وعلى العكس إذا كانت طبقة قاسية سميكة ترقد فوق طبقة رخوة رقيقة فإن الحت سيجد صعوبة كبيرة في قسر



(شكل ٨٧) ـ منظر كويستا عندما تكون الطبقة المقاومة رقيقة (آ) ، وعندما تكون الطبقة المقاومة سميكة (ب) . وتشير الطبقة البيضاء إلى الطبقة الرخوة .



(شكل ٨٨) ـ منظر كويستا في حالة طبقات قليلة الميل (آ) . وعندما تكون شديدة الميل (ب) ت : تلعة شاهدة . خ = خشم . ش = شِعْب .

الكويستا على التراجع ، مما يعطيها شكلا متكتلا ومرتسما مستقيما (شكل ٨٧ ب) .

حـ) تفاوت شدة الميل الطبقي (شكل ٨٨) ـ كلما كان الميل الطبقي ضعيفا كلما كان تراجع الكويستا سريعا وكلما كان مرتسمها متعرجا . والواقع لنفترض وجود الكويستا ناتجة عن طبقات ضعيفة الميل الطبقي (شكل ٨٨ ـ آ) : فنجد أن لكل تلعة شاهدة ، أو خشم éperon ارتفاعا لا يزيد كثيرا عن الارتفاع المتوسط لقمة الجبهة ، وهكذا تظل تلك التلعة إذن قائمة لمدة طويلة شأن الخشم كما يبقى التشرشر على الجبهة ، مثال ذلك كويستا الكلس الغليظ في منطقة لاءون Laon الفرنسية ، وكويستا جبل طويق في السعودية . وعلى العكس عندما يكون الميل الطبقي شديدا ، فإن التلاع الشاهدة أو الخشوم éperons الموجودة بالصدفة ستكون على ارتفاع أعلى بكثير من الارتفاع المتوسط لقمة الجبهة ، لأن هذه التلاع والخشوم تكون معرضة بشدة للحت وتجنح للتلاشي ، وهكذا نجد كويستا ذات مرتسم قليل التعرج والتلاع

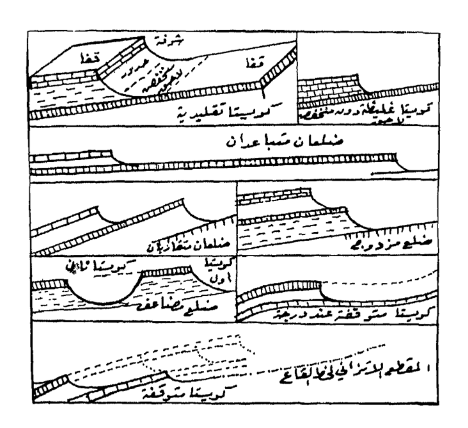
الشاهدة نادرة أو منعدمة مثل الكويستا الأيوسينية المطلة على وادي افرة في خارطة الزبداني وهذا على خلاف أضلاع منطقة نجد حيث لا يزيد الميل الطبقي عن ١,٣ ٪ أو ١٣ م في كل كيلو متر .

ولما كان ميل الطبقات أبعد من أن يكون منسجما على نفس الكويستا فإن الكويستا المذكورة يمكنها أن تحوي على مشارف متقدمة avancées حينما تكون الطبقة القاسية أقل ميلا ودخلات أكثر عمقا حيثما تكون الطبقة القاسية أكثر ميلا نسبيا .

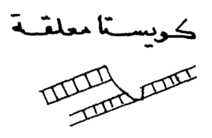
د ـ ومن الطبيعي أن مختلف **منظومات الحت** لا تطور الكويستا حسب نفس الأسلوب . ففي الصحاري مثلا تكون شرفات الكويستا أكثر وضوحا لأنه ليس هناك من تربة إلا في المناطق الرطبة وبالتالي يكون نزول الأنقاض ، القادرة على تدوير الأشكال وتثليمها ، ضئيلا مثل جبل طويق أو جال تكوينات الخف قرب بريدة في أواسط نجد .

هـ) مرحلة التطور ـ لا تكون الكويستا الشابة منكشفة تماما بتأثير الحت ، أما الكويستا الناضجة ، فعلى العكس ، تكون واضحة تماما : مثل كويستا معلولا التي تمتد من الجنوب للشمال على مسافة تزيد على الخمسين كيلو مترا والكويستات الكبرى في الحوض الباريسي ، ولا سيا كويستا جبل طويق التي تمتد على مسافة تزيد على بضع مئات الكيلو مترات (شكل ٨٩) . وعلى العكس يحدث في نهاية التطور ، عندما تتوقف خطوط القاع عن التعمق تقريبا ، فإن الكويستا تنطمس تدريجيا كحالة كويستا شامبانيا بين نهر الأوب ونهر السين .

ونستطيع إذن مقارنة مناطق رسوبية دون كويستا واضحة كجنوب شرق

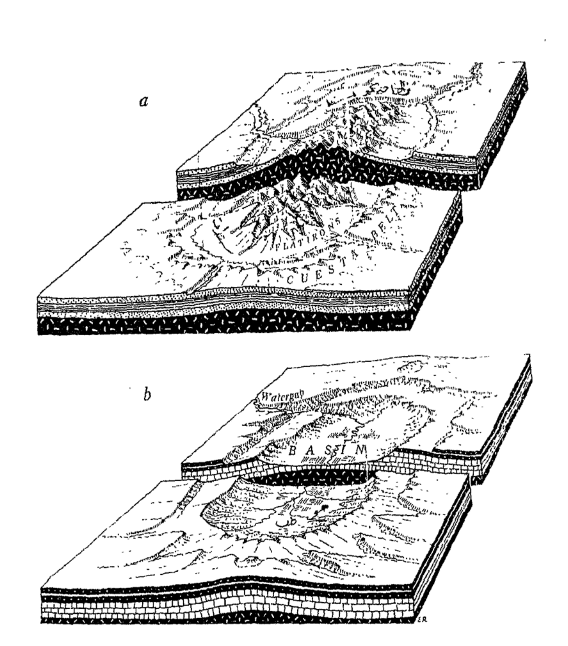


الكويستات ومختلف نماذجها



(شكل ٨٩) : عن شولليه cholley

الحوض الباريسي ومناطق ذات كويستات بديعة كمنطقة نجد الشرقية . ففي الحالة الأولى لم يحدث أي نهوض هام فوق مستوى الأساس منذ أواسط الدور الثالث . وعلى العكس فإن شروط تكشف الكويستات الكبيرة قد تحققت في نجد . فالنهوض قد تجاوز بالتأكيد مقدار ٤٠٠ م منذ الميوسين مما سهّل عمل



(شكل ٩٠)

في a كويستا حلقية في بنية قبابية

في b كويستا حلقية في بنية حوضية

الحت بالإضافة للمناخ الرباعي المطير . ومما ساعد على بروز جبهات جبل طويق وجود طبقات قاسية سميكة وطبقات رخوة رملية أو مارنية جصية أو من الأنهدريت سميكة أيضا فضلا عن جفاف المناخ وانعدام النبات بالتالي والتذرية الريحية التي تتعهد بنقل أنقاض التجوية الريحية .

هذا وقد تتعرض الطبقة القاسية العميقة تحت الكويستا للحفر فنقول أن الكويستا أصبحت معلقة (شكل ٨٩) .

أما (شكل ٩٠) فيمثل مجسّمين a و b نرى فيها أشكال التضريس المميزة لعمل الحت في قبة بنيوية a حيث تكون الصخور الواقعة في الوسط مقاومة نسبياً قد تؤلف جبالاً مثل جبال اوزارك في غرب التكساس في الولايات المتحدة ، أما في الشكل b فتكون الصخور في الوسط قليلة المقاومة نسبياً فتشكل حوضاً تطيف به حلقتان من الكويستات (الضلوع) كما في الشكل العلوي حيث يظهر نطاق ضلوع واحد .

ثالثا ـ تضاريس الطيات البسيطة :

يمكن للصخور الرسوبية أن تكون متموجة ، أو كما يقال ملتوية ، عوضا عن أن تكون جانحة في اتجاه واحد فقط . فيمكنها أن تكون ملتوية بصورة خفيفة أو شديدة ، وبصورة متناظرة أو غير متناظرة ، هذا عدا عن البنى الأكثر تعقيدا والتي سنشير إليها فيما بعد .

١ ـ التطور : تضريس جوراسي ، تضريس مقلوب ، تضريس أبالاشي

لنتصور وجود تعاقب منتظم من طيات بسيطة ، فإذا ما هاجم الحت مجموعة كهذه ، فإنه يعمل أولا على تخليصها من الطبقات الرخوة التي سبق لها أن غطتها ، بحيث لا تبقى الطبقات الرخوة إلا في أضعف نطاقات الحت ، أي في قيعان المقعرات ، وبعدئذ تتعرى الطبقة القاسية التي تشكل درع المنطقة . ومن المستحيل الكلام عن سطح تكتوني أصلي لأن انتزاع الطبقات العليا يبدأ خلال عملية الالتواء ذاتها .

غير أنه من المقبول بأن بداية التطور تقع عندما تكون الطبقة القاسية مستمرة أي متصلة وسليمة تقريبا فالمحدبات تنطبق على خطوط الارتفاعات ، وعلى القباب ، مثلما تنطبق المقعرات على المنخفضات ، وعلى المهود . وإذا استعملنا المفردات الجوراسية التي جعلها الجغرافيون أكثر دقة بكثير من الكلام الشعبي ، فإننا نسمي **مونت** mont المحدب السليم وفال val المقعر الذي لا زال على حاله تقريبا .

بيد أن هذا التضريس المطابق للتموجات التكتونية والذي تمخّض عنها لا يتأخر عن التعرض للحت . فنقول تضريس جوراسي Jurassien[٣٤] عندما نتكلم عن تضريس ملتو ذي بنية بسيطة يكون تعرضه للحت في بدايته تقريبا . ومن ناحية عملية لا تحوي جبال الجوار إلا فيما ندر مثالا عن تضريس كهذا ، ولكن احتفظ العلماء بالعبارة . وإليكم المفردات الخاصة بهذا النوع من التضاريس :

كومب : منخفض نشأ في قمة محدب . والكلمة مأخوذة من اللاتيني cymba وتعني **القارب** . ويستعمل فلاحو جنوب شرق فرنسا هذه الكلمة عموما كناية عن منخفض قليل العمق منفتح من إحدى نهايتيه . ولهذا من الأجدر أن نكون دقيقين عند الكلام عن تضريس جوراسي ، فنقول **كومب محدبي** أو **سنامي** .

كريت crêt : حافة الطبقة القاسية لخاصرة المحدب والمطلة على طرفي الكومب ، ويسمى **الكف** في تونس .

---

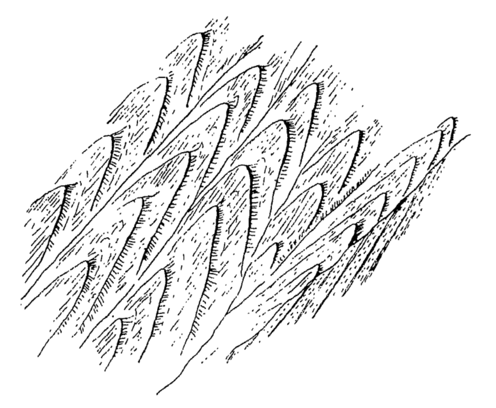
(٣٤) جوراسي هنا نسبة لجبال الجورا وليس مثل كلمة جوراسي أو جوراسيكي Jurassique الدالة على فترة وسطى من الدور الجيولوجي الثاني .

روز ruz : واد صغير محفور في خاصرة المحدب مثل وادي منين شمال شرق دمشق .

كلوز cluse : ممر نهر يجتاز « **مونت** » مثل كلوز الربوة الذي يمر منه نهر بردى .

سندة chevron : وتظهر على شكل مثلثات متراكبة فوق خاصرة المونت (شكل ٩١) .

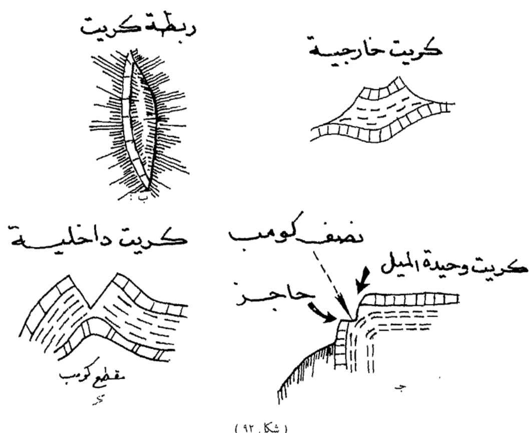
وإذا ما سار التطور قدماً فأصبحت سوية النهر دون سوية قاعدة الدرع القاسي في قاع المقعرات فمعنى ذلك أننا وصلنا **لانقلاب تضاريس** حقيقي ، لأن المحدبات تصبح بفعل تعريض الكومبات متلاشية تماما ، وبذلك تهيمن قيعان المقعرات على المحدبات المفرغة وحينئذ تسمى المقعرات المعلقة



(شكل ٩١) السدات أو الشيفرون chevrons على حاصرة مونت

Synclinaux perchés. وهذا الطراز النادر في جبـال الجورا الفرنسيـة نعثر عليـه بكثرة في مقدمة جبـال الألب ، وفي جبـال التل التونسيـة ويسمى المقعر المعلق هناك **قلعة** .

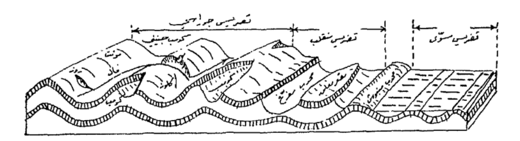
وما أن يتم انتزاع الـدرع القـاسي حتى يـأخـذ الحت في العمل بسهولـة في الطبقة السفلى فيقسر الكريتات crêts على التقهقر كما لو كانت عبارة عن جبهة كويستا . ولكن إذا ظهرت تحت الطبقة الرخوة طبقة صلبـة أخرى فـإن هـذا سيؤدي لتكشف مونت جديد مشتق mont أو كما يقال **محدب منبوش** . ذاك هو الـوضـع في القسم الأعظم من جبـال البريئـالـب الفرنسيـة الشماليـة ، حيث



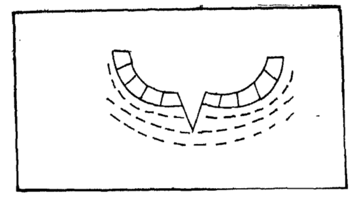
(شكل ٩٢)
في أ : انقلاب التضريس وظهور المقعر المعلق وكريت خارجية
في ب : كومب منظر من السطح وكريت داخلية
في ج : طية ركبة وظهور نصف كومب مع كريت وحاجز
في د : كومب كما يرى من خلال مقطعه

ظهرت تحت الدرع الأورغوني مجموعة من صخور طرية ، ولكن تحت هذا المجموع بدت طبقة قاسية جديدة تعود للتيتوني tithonique (الجوراسي الأعلى) . وفي خاتمة هذا التطور يتحقق كشط كل المنطقة حتى مستوى الأساس ، أو بعبارة أخرى **التسطيح** planation أو التسوية .

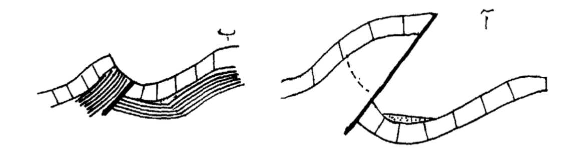
ولكن إذا نهضت المنطقة بعد تسطيحها فإن الحت سيستأنف عمله



(شكل ٩٣) تطور تضريس التوائي لقد مثلنا التطور وهو يزداد تقدماً باتجاه اليمين



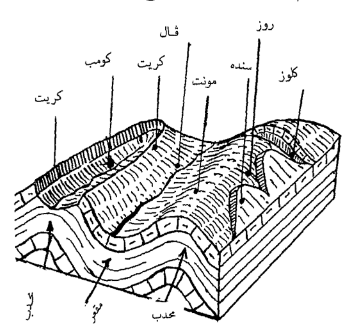
(شكل ٩٤) فال معلق



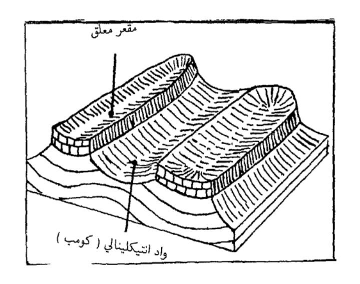
(شكل ٩٥) تشكل واد مركب في ب (أي واد نصفه بنيوي ونصفه الآخر حتي) بعد تطور التشكل ا .

الاصطفائي ، إذ سيعمل بعمق في الصخور الطرية ويبرز الصخور القاسية . وبذلك يظهر التضريس **الابالاشي** appalachien (شكل ١٠٠) .

وتكون القمم مؤلفة من صخور قاسية سبق أن بترها سطح حت قديم ، إذن تكون هذه القمم المذكورة على ارتفاع واحد تقريبا . هذا وتنحفر



(شكل ٩٦) الأشكال المشتقة من التضريس الالتوائي الجوراسي



(شكل ٩٧) مجسّم لانقلاب التضريس الجوراسي

الأخاديد في الصخور الطرية ، وكثيرا ما تشكل السطوح البنيوية المتكشفة خواصر واضحة .

ومن الملاحظ أن القمم في التضريس الابالاشي يمكن أن تكون عبارة عن محدب قديم (شكل ١٠٠ اليمين والوسط) أو تكون عبارة عن مقعر قديم أو عبارة عن كريت crét (شكل ١٠٠ اليسار) أو في وضع وسيط ، هذا كما يمكن للأخاديد أن

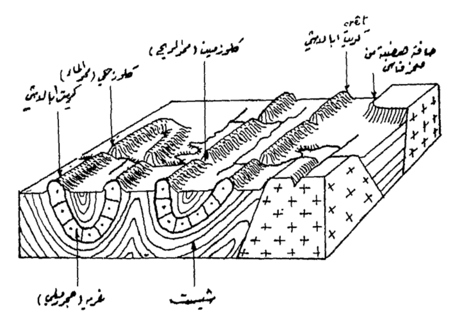


صورة رقم ١٢ ـ ويظهر المونت المنبوش أو المشتق في وسط الجانب الأيسر من الصورة

صورة جوية لنهاية محدب في جنوب غرب إيران (شكل عقب السيجار) وقد ظهر في قلبه « مونت » تطيف به حفرة هي عبارة عن كومب محفوف بكريتين . وتظهر السندات (شيفرون) بصورة واضحة وتنفصل عن بعضها بأودية (روز) .



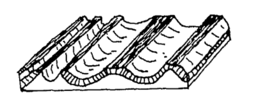
(شكل ٩٨) عقب السيجار ويقصد به مونت منبوش



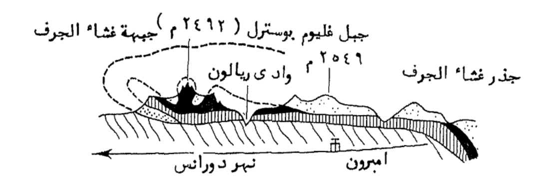
(شكل ٩٩) تفاصيل التضريس الأبالاشي

تتشكل دون تقييد سواء في أوضاع مقعرية « سنكلينالية » (شكل ١٠٠ يمين ووسط) أو محدبية (شكل ١٠٠ يسار) أو وحيدة الميل (شكل ١٠٠ أقصى اليسار) .

هذا وتنطبق مبادئ تطور التضريس الالتوائي بشكل خاص على تموجات أغشية الجرف (شكل ١٠١) . فقمة موجة الغشاء تكون على العموم منزوعة على أيدي الحت بصورة يتكشف معها الغشاء السفلي أو الطبقات المحلية ، أي غير المجروفة : ويسمى **النافذة** في البنية المجروفة وهو ما يقابل الكومب في البنية الالتوائية البسيطة ، مثال ذلك : كتل جبال آآر Aar وغوتار وانغادين في فرنسا وسويسرا . هذا وقد يترك الغشاء الذي اجتثه الحت شواهد من زحفه



(شكل ١٠٠) تضريس أبالاشي

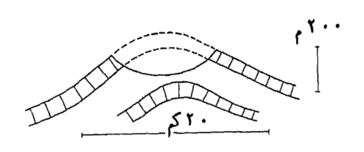


(شكل ١٠١) حت غشاء جرف في منطقة Embrunais
ويعتبر جبل بوسترل بقية تغطية جرف . ووادي ريالون نافذة .

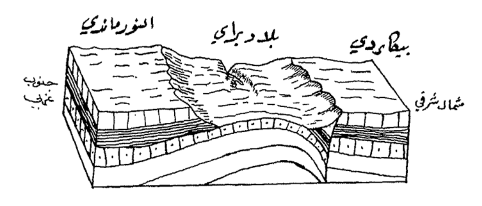
القديم . وتسمى هذه الشواهد **بقايا التغطية** أو **كليب** Klippe (مثال : تلال ميتن Mythen في مقدمة الألب السويسرية قرب بلدة شويز ، وجبل بوسترل الذي يهيمن على وادي نهر دورانس في جبال الألب الفرنسية) .

٢ ـ حالة خاصة : تضاريس التوائية في أحواض رسوبية :

لقد سبق لنا ورأينا الطبقات المائلة تتطور في الأحواض الرسوبية إلى كويستات . ولكن إذا لم يكن الميل دوما في نفس الاتجاه بل يتخذ وضعا متموجا ، فإن التضريس يجنح عندئذ كي يتخذ أوضاعا تذكرنا بالتضريس الجوارسي إلى حد ما . فالانحناء المحدبي ، مهما كان خفيفا ، يتعرض لحت ينال قمته كي يتحول إلى نوع من كومب فسيح يدعى **عروة** boutonniére (شكل ١٠٢) وتكون العروة محدودة من طرفيها بكويستتين متقابلتين ولهما وضع



(شكل ۱۰۲) ـ عروة (براي)



(شكل ۱۰۳) ـ مجسم تظهر فيه عروة براي الشهيرة في شمال شرق فرنسا

مماثل للكريت التي تطيف بكومب محدبي « انتيكلينالي » ، ولكن ميل الطبقات يكون هنا ضعيفا ، والارتفاعات معتدلة ، وعرض الكومب كبيرا فضفاضا ، وتدعى العروة أحيانا **براي** Bray نسبة لمنطقة في شمال شرق فرنسا لها نفس الوضع وكذلك يعتبر وادي العربة الواقع غربي القطاع الجنوبي من قناة السويس ، براي ، أو عروة حقيقية تطيف بها من الشمال والجنوب هضبتا الجلالة البحرية والقبلية .

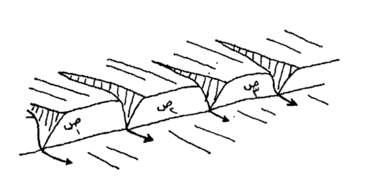
رابعا ـ تطور تضاريس الصدع .

لقد سبق لنا ورأينا كيف أن الكسور التكتونية هي المسؤولة عن تفاوتات المستوى بين حجرات أو كتل القشرة الأرضية وعن تعقيدات البنى . ويعمل كل من الحت ونظيره التراكم كردّ فعل على تشكل هذه الفوارق

التكتونية في الارتفاعات وعلى طمس معالمها بالتدريج ويجب علينا الآن أن نتعرف على عملها المذكور .

إذا ارتفعت حجرة blocعلى طول صدع ما ، فإن الحت يجنح إلى مهاجمتها في حين أن التركيم يكدس فوق الحجرة الهابطة توضعات تدعى **توضعات الصدع التناسبية** dépôts corrélatifs ولا تكون هذه التوضعات سميكة فوق الحجرة المنخفضة إلا إذا لم يقم هناك أي جريان نهري مستمر باتجاه الخارج ، والواقع هو أن الجريان الدائم يجرف الأنقاض الصخرية ويصدّرها . وهكذا لا تتشكل التوضعات التناسبية إذن إلا تحت نظام صرف داخلي ، وعندئذ تجنح إلى حجب تضريس الصدع الناشيء : فيظل مستوى الصدع مستحاثا كلما تحرك ولن يظهر في التضريس .

ولكن الصدع الذي لا تحجبه التوضعات التناسبية أثناء تشكله سرعان مايعبر عن نفسه في الطبوغرافيا . وعندئذ تتخذ الأنهار وضعا متعامدا مع الجرف الناشيء . هذا الجرف هو **الجرف الصدعي** escarpement de faille وإذا نظرنا إليه مواجهة وجدناه عبارة عن صف من **الوجيهات شبه المنحرفة** trapézoidales (شكل ١٠٤) ويتألف كل وُجَيْه من قطاع من قاعدة الجرف (قاعدة شبه المنحرف الكبيرة) ، ومن قطاع في قمة الجرف (قاعدة شبه المنحرف الصغيرة) ومن خاصرتي خوانق قاطعة (ضلعا شبه المنحرف) . هذه الوجيهات تكون واضحة بشكل يلفت النظر تحت مناخ قاحل لأن المنحدر لا يتثلم أبدا ، وقد درست هذه الأشكال لأول مرة في غربي الولايات المتحدة . ولكن تحت مناخ معتدل رطب فإن هذه الوجيهات تتثلم بسرعة كبيرة أي تفقد زواياها وتستدير ، وأجمل الوجيهات التي تلاحظ هناك ، كوجيهات الجرف الغربي الذي يحاذي سهل ليمانيا Limagne في فرنسا ، هي عبارة عن

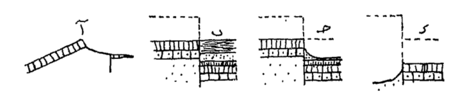


(شكل ١٠٤) ـ وجهات شبه منحرفة : ص١ و ص٢ و ص٣

أجزاء من مستويات صدوع مستحاثة بتوضعات وقد تقطعت إلى وجيهات منذ عهد قريب نسبيا .

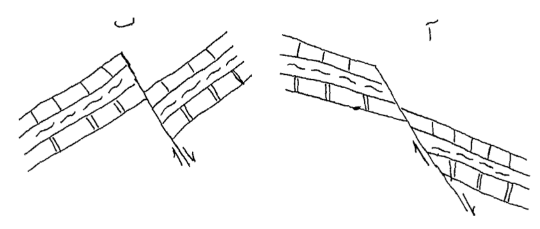
ويعمل كلٌّ من حت سفوح مجاري الماء التي تقطّع الجرف وانحطاط الوجيهات على تقهقر الجرف بعد قليل وقد يصبح مرتسمه متعرجا مع تقهقر أقصى بمحاذاة أفضل الأنهار تغذية . كما يصبح قدمه مستحاثا بالأنقاض القادمة من الحجرة العليا ، اللهم إلا إذا كان الحت قادرا على انتزاعها من فوق الحجرة الهابطة أولاً فأوّل .

هذا ويتم تراجع جرف الصدع حسب قوانين الحت الاصطفائي . ففي منطقة ذات بنية رسوبية تهشمت إلى حجرات وحيدة الميل بفعل صدوع معاكسة contraires (شكل ١٠٦) ، فإن التراجع يؤدي لقيام شروط موائمة لنشوء الكويستات : وإذا ما تكشف عند قاعدة الجرف البدائي صخر طري وكتيم ، يعلوه صخر قاس ، فإن الصخر الأخير سيشكل شرفة تتقهقر على شكل قمة جبهة الكويستا (شكل ١٠٥ آ) . وهنا نصبح في وضع يكون من العسير فيه القول بأننا بمعرض جرف صدعي أو أمام كويستا ، والواقع أن القضية قضية



(شكل ١٠٥) ـ تطور الجروف الصدعية

آ : تطور على شكل كويستا . ب : تسوية nivellement . ج : جرف خط الصدع في نفس اتجاه الرمية . د : جرف خط الصدع في اتجاه معاكس للرمية وهنا حصل انقلاب التضريس .



(شكل ١٠٦) ـ في آ ـ صدع مطابق . في ب ـ صدع معاكس

مصطلحات بحتة . والحقيقة نحن أمام جرف صدعي يتطور إلى كويستا ، وهي حالة تحققت في منطقة Maconnais الفرنسية .

ونقطة الختام في تطور جرف صدعي هي التسوية (شكل ١٠٥ب) وإذا حصل استئناف حتى في منطقة بلغ فيها الجرف الصدعي مرحلة التسوية فان ذلك يتم حسب اصول الحت الاصطفائي . واذا كانت الصخور المتكشفة على جانبي الجرف المسوى ذات صلابة متماثلة فلن يحصل تفاوت جديد في المستوى . وعلى ابعد حد اذا كان الصدع عبارة عن نطاق جرش broyage ذي مقاومة ضعيفة ، فان النهر سيتمكن من ان يستقر فوق خط الصدع وبذلك يتشكل

وادي **خط الصدع**[1] . هـذا ولا تلتفت نظـارة هـذا المنحـدر بـالضرورة في نفس اتجاه نظارة الصدع ، اذ يمكن ان يحصل حالتـان : امـا ان تكون الحجرة التي يتكشف فيهـا الصخر الطري واقعـة في جـانب الحجرة التي سبـق لهـا ان انخفضت تكتوينا ، وهنـا يكون المنحـدر متجهـا في اتجـاه الرميـة نفسـه أو أن الحجرة الطرية واقعة من طرف الحجرة النـاهضـة تكتونيـا ، وفي هـذه الحـالـة يتجه المنحدر الجديد في اتجاه معاكس للرمية .

وتستعمل عبارة **جرف خط الصدع** للدلالة على الجرف الواقع على خـط الصدع ولكنه ناتج عن **الحت التفاضلي والتراجعي** مثل شفا جبال السراة . هذا ويمكن ان تكون نظارة جرف خط الصـدع في نفس اتجـاه الرميـة ، او في اتجاه معـاكس (شكل ١٠٥ ج ، د) وعلى العكس يخصص اسم **جرف الصـدع** للجرف الناجم **مباشرة** عن تفاوت مستوى تكتوني ، حتى ولو كان قـد تراجع كثيرا وتثلم emoussé : فـالجرف الحـديث (بليـوسيني أو ربـاعي) هـو جرف صدعي ، لان تفـاوت المستوى التكتوني لا يكون على درجـة كبيرة من القـدم تسمح بتلاشيه ، اما الجرف القديم فوق مرتسم tracé صـدع فيكون على الغـالب عبارة عن جرف خط صدع .

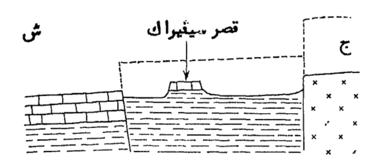
ومن المعروف ان هناك تطورا مطابقا للمخطط النظري في بعض الحالات كحالة حفرة سيفيراك الكاذبـة . فـمدينـة سيفيراك في جنوبي الكتلـة المركزيـة الفرنسيـة تقع في منخفض ـ والتلاع وحـدهـا مثـل تلعـة القصر هي التي تخلق تضريسا في داخل هذه المنطقة المنخفضة ـ يطيف به جرفان ممتـدان من الشرق للغرب يفصلان المنخفض من الجنوب عن هضبة غرانيتية وفي الشمال عن هضبة كلسية . غير ان الخارطة الجيولوجية تـدل على انـه ليس هنـاك من علاقـة بين الطبوغرافيا وبين اتجاه تفاوتات المستويات التكتونية . فالطبغرافية توحي لنـا

---

(١) انظر وادي دودين في خارطة تل كلخ الجيولوجية حيث ينكشف الجوراسي .

بوجود حفرة في حين ان التكتونيك اوجد درجة في مكانها . والواقع لدينا سُلَّماً من الصدوع . ولكن الطبوغرافيا تعرضت اولا الى التسوية ، ثم استؤنف الحت وأوجد تضاريس تفاضلية . فالحجرة الجنوبية التي كانت الاكثر ارتفاعا ظلت ناتئة لان الغرانيت الذي تتألف منه كان مقاوما . اما الحجرة الوسطى ، او كتلة سيفيراك ، فقد تفرغت وانحفرت في المارنّيات اللياسية ، وتشهد تلعة قصر سيفيراك وحدها على الامتداد القديم للكلس الجوراسي فوق اللياس المارني . واخيرا فان الحجرة الشمالية المغطاة بالكلس الجوراسي ظلت ناتئة بسبب شدة مقاومة الصخر المذكور .

وهكذا فان منخفض سيفيراك عبارة عن منخفض من اصل تفاضلي محفوف بجرفي **خط الصدع** . فالجرف الجنوبي له نفس نظارة مستوى الصدع ، اما الجرف الشمالي فله نظارة مضادة لمستوى الصدع : انه جرلاف مقلوب (شكل ١٠٧) .



(شكل ١٠٧) ـ مقطع تقريبي لحفرة قصر سيفيراك (الكاذبة)

ويستند التحليل المورفولوجي للتضريس اذن على دراسة زمرتين من العوامل :

١ ـ النمط التكتوني الذي يجب من اجل معرفته ان نلاحظ اولا مساراته tracés ومن ناحية اخرى اعادة تمثيل التشويهات الناجم عن الصدوع .

٢ ـ درجة تطور الجروف الصدعية .

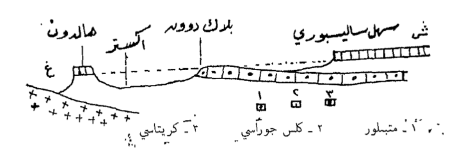
الفصل الثامن
التضاريس الناتجة عن بعض البنى المعقدة

مقدمة : لقد نظرنا الى الكويستا او الى أشكال الالتواء على انها متكيفة ضمن بنى موافقة . ولكن قد نجد بنى متنافرة في حالة تطور الجالات coteaux (غلنت) أو الكويستات وفي حالة السلاسل الملتوية .

اولا : البنى المتنافرة (اللامتوافقة)

١ ـ الكـويستـات في البنى المتنـافرة : اذا افترضنـا ان زمرة من الطبقـات تعرضت ، بعـد توّضعهـا ، للجنـوح basculée أي مـالت من جـانب واحد ، وللحت حتى تحولت الى شبـه سهل ، ومن ثم تغطت بـالبحر وبرواسب جـديـدة ثم نهضت من جـديـد وجنحت ، فـان كـلا من الـزمرتين سيعطي تضريس كويستا .

وتمثل هـذه الحـالـة في منـاطـق الحـوض البـاريسي التي تطيف بـالكتلـة الآرمويكية ااي الى الغرب من باريس وشرق شبه جزيرة بريتانية وفي جنوب غرب السهل الانكليزي . وفي الواقع يرقد الحوار الكريتاسي في كلتا المنطقتين ، بصورة متنـافرة فوق سطح حتّي يبتر كل الطبقـات السـابقـة . فزمرة مـاقبـل الكريتاسي تعرضت لحتّ حديث كشُف فيهـا كـويستـات . ولكن الكريتـاسي يتقدم غربا دون اي علاقـة مع اتجـاهـات الكـويستـات التي تشكلهـا الطبقـات السفلى وتقع الكـويستـا الخـاصـة بـه ، اي الكريتـاسيـة ، بجـوار كتلـة ديفـون Devon القديمة البريطانية وبجوار الكتلة الآرموريكية الفرنسية وتنتصب تلعـة



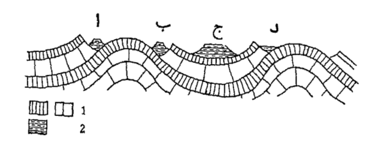
(شكل ١٠٨) - دور الطغيان الكريتاسي المتنافر في جنوب غرب السهل الانكليزي (مقطع مبسط) ١ - كتلة ديفون القديمة ، ٢ - كلس جوراسي ، ٣ - كريتاسي . غ : السهل الهامتي أو السهل المطيف . ١ - صخر متبلور ٢ - كلس جوراسي ٣ - كريتاسي

شاهدة كريتاسية حتى الى الغرب من اكستر في قلب المنخفض الهامشي (شكل ١٠٨) ، كما لو كانت تلعة شاهدة منفصلة عن كويستا شامبانيا تهيمن على منطقة ابينال Epinal . وهكذا نكون امام نموذج معقد من بنية متنافرة في منطقة رسوبية .

٢ - البنى المتنافرة في السلاسل الملتوية : لنفترض ان سلسلة ملتوية تطورت بحيث تقدم لنا تضريسيا جوراسياً او حتى تضريسا مقلوبا[٣٥] فاذا اخفضت بعد ذلك تكتونيا في مجملها واجتاحها البحر ، فان ترسبا سيستقر فوقها بشكل متنافر ، ترسب لا يرقد فوق شبه سهل بل فوق سطح طبغرافي يشتمل على كريتات وكومبات وڤالات ، ترسب يتنضّد بصورة افقية فوق زمرة قديمة ملتوية ويملئ المنخفضات اولا . فاذا ما انهضت المنطقة من جديد فان الحت سيستأنف نشاطه وسيتطور التضريس في البنية الجديدة المعقدة (شكل ١٠٩) . واذا اعترى الزمرة الاولى التواء جديد للمرة الثانية والزمرة الجديدة لاول مرة ، فمن الممكن ان نرى طائفتين عامتين من الاشكال البنيوية

---

(٣٥) التضريس الالتوائي المقلوب هو الذي أصبح فيه المحدب منخفضا والمقعر مرتفعا



(شكل ١٠٩) ـ بنية متنافرة في سلسلة التوائية من نموذج جبل الاوراس الجزائري ١. ـ طبقات من الدور الثاني ٢ ـ مولاس ثلاثي منه أربعة شواهد هي آ ، ب ، ج ، د ، وقد توضع المولاس بصورة افقية بشكل متنافر في تضريس جوراسي متطور سابقا بعد التواء شديد قبل توضع المولاس . كما أن الحت انتزع قسما من المولاس بدوره .

المشتقة . ومن الواضح في هذه الحالة ان الزمرة الثانية تكون ملتوية بصورة اقل عنفا من الزمرة الاولى وان التقاطيع المورفولوجية modelé تكون فيها اكثر هدوءا .

ذلك هو التطور المورفولوجي في جبال اوراس في شرقي القطر الجزائري . فالمولاس العائد لأواسط الدور الثالث توضّع بفعل طغيان بحري في منخفضات داخلية هيأها الحت سابقا في زمرة من طبقات ملتوية تعود للدور الثاني وبعد طغيان بحر المولاس وتوضّع طبقات متنافرة بواسطة هذا البحر ، تعرضت بدورها لالتواء خفيف جدا ، وهو عبارة عن ظاهرة غير نادرة في بعض مناطق جبال الالب وفي المناطق الملتوية على اطراف البحر الابيض المتوسط .

مثال آخر: توجد في سهل الايبر ، في اسبانيا ، سلاسل صغيرة التوت في بداية الدور الثلاثي وتنتسب لجبال البيرينيه او السلاسل الايبرية . وقد تعرضت السلاسل المذكورة للإستحاثة بعد قليل تحت صخور البودنغ الناتجة عن تهديم خلفيّة هذه الجبال ، بفعل الحت ، تلك الصخور التي كانت تتوضع في

بحر كان يغمر الحافة الملتوية . لكن نهوضا تـاليـا عمل على ابراز مجموع السلاسل الالتوائية مع توضعاتها العليا من البودنغ المستحيثة الدافنـة . fossilisants . وفي بعض الحـالات ، كان النهوض مصحوبـا بـالتواء خفيف اعترى البودنـغ ذاتـه . وهكذا نجد ان نماذج التضريس تختلف كثيرا من مكان لآخر .

ثانيا ـ تواؤم الانهار مع التضريس الالتوائي وانعدام التواؤم .

يمكننا ان نتذكر ما سبق ورأينا من امكانية تواؤم الانهار او عدم تواؤمهـا مـع تضـاريس الكـويستـا . ويمكن قـول الشيء نفســه في حـالــة التضريس الالتوائي : فنهر يخترق محـدبـا من خلال كلوز هـو نهر غير متـوائم كنهر بردى عند اختراقه محدب قاسيون عند الربوة . امـا الروز ruz الـذي يهبـط من فوق خـاصرة محـدب او النهر المستقر في فـال Val مقعري « سنكلينـالي » فهما نهران متوائمان مع البنية .

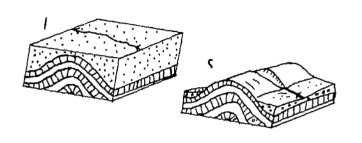
واذا كان من الميســور علينـــا أن نفهم بسهــولـــة كيف ان نهرا يستقر في منخفض بنيوي مثل الفال مثلا ، فانه من العسير فهم اجتياز الانهار للمحدبـات بواسطة الكلوزات . وهناك عدة تفاسير لذلك :

١ ـ ربما ان النهر قد استغل وجود كسر متعامد مع اتجاه محور الطية .

٢ ـ يمكن ان ينتج الكلوز عن عملية أسر .

٣ ـ أو لقـــد استطـــاع النهر ان يستقر فـوق سطــح حتي كان يبتر كل التضريس ، ومن ثم اوجد التعمق النهري اشكالا مشتقة جديـدة ، وهـذا تفسير ممكن فقط بالنسبة للتضاريس الا بالاشية .

٤ ـ ان النهر قـد تشكل فـوق غطـاء متنـافر كما لـو كان قـد تشكل فـوق توضعات المولاس (شكل ١٠٩) . واستطاع الحت بعدئذ إزالـة الغطـاء المـذكور .

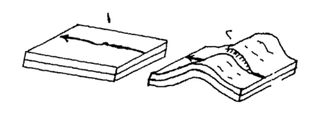


(شكل ١١٠) ـ الفرض

وهكذا نفسر كيفية اجتياز نهر الرون لمحدب دونزير Donzére بين سهل مونتيليمار ومحدب تريكاستان Tricastin .

وهكذا نقول ان نهراً كهذا ؛ تشكل فوق غطاء كان يحجب التضريس التحتي ، قد **فرض** نفسه .

٥ ـ او ان النهر كان يتبع اتجاها معينا قبل الالتواء ، ومن ثم احتفظ بمجراه السابق اثناء تشكل الطية ، كما لو كان منشارا مستمرا في نشر لوح خشب آخذ في الارتفاع والانحناء كلما تعمق نشره (شكل ١١١) . تلك هي **ظاهرة السبق** antécédance ومن الملاحظ ان كثيرا من هذه النظريات تنطبق ليس فقط على التضريس الملتوي ، بل على التضريس المصدع ،الذي يطرح مشاكل مماثلة في التلاؤم او عدمه . وفي الواقع يستطيع نهر ما ان يذهب من حفرة انهدامية لاخرى اثناء حزه « هورستا » على شكل خانق : فقد يتمكن من ان يتبع تخلعاً Fracture يشطر الهورست ، أو أن يستقر فوق شبه سهل سوّى كل المنطقة ، او ان ينتج عن أسر ، او ان ينفرض في عصر كان تضريس الهورست فيه محجوبا بتوضع متنافر ـ كالصخور الرسوبية الاوليغوسينية في الكتلة المركزية الفرنسية ـ او يكون اخيرا سبقيا بالنسبة للانهيارات او حركات النهوض المسئولة عن ظهور الحفر الانهدامية والهورستات .



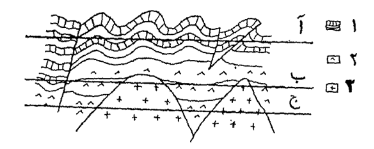
(شكل ١١١) ـ السبق

٣ ـ مبادئ جيومورفولوجية الركائز socles « المجنّات »

نحن نعرف ان الركيزة هي جبل مؤلف من صخور قديمة تصلبت منذ زمن طويل ، مبتورة بسطح حتي يتصرف وكأنه سطح تنافر وقد يحمل غطاءً رسوبيا .

ومهما كانت بساطة هذا التعريف فان الركيزة يمكن ان تكون متنوعة جدا . فقد يمكن ان تكون محصورة ضمن سلسلة ألبية ، لأنها تشكل احيانا اساس مقعر ارضي ، كحال كتلة مون بلان في جبال الالب . ولكننا سنقتصر في دراستنا هنا على الركائز الموجودة في خارج السلاسل الالبية البحتة .

فبعض هذه الركائز لم يتعرض لأي التواء منذ عصر ما قبل الكامبري ، وتدعى **المجنّات أو التروس أو** boucliers بالفرنسية و schields بالانكيزية ، كالمجن الكندي ، والمجن الفينوسكاندي والمجن العربي الذي أطلق عليه ـ خطأ وجهلاً ـ إسم الدرع العربي . ولا تشتمل أمثال هذه المجنات على رسوبات ملتوية مطلقا ، بل يمكن أن تكون مصدعة ، أو جانحة basculés ، أو منهضة لارتفاعات قوية ، قد تزيد عن ١٠٠٠ م كما في شبه جزيرة كولا . غير أن مورفولوجيتها تكون أكثر بساطة على العموم من مورفولوجية الركائز التي تعرضت للالتواء فيما بعد والتي تدعى **الكتل** massifs . وتوصف الكتل بأنها كاليدونية ، هرسينية ، الخ ، حسب عمر التوائها علماً بأن كتلة ما يمكن أن



(شكل ١١٢) - مخطط يظهر بنية سلسلة وثلاثة نماذج ليتولوجية يمكنها أن تشتق من كتلة قديمة : ١ - صخور رسوبية ، ٢ - صخور متبلورة تورقية ، ٣ - صخور بلوتونية . وحسب تكيّف سطح التسوية الذي بتر السلسلة فقد تشكل سطح في مستوى الصخور الرسوبية آ ، وفي مستوى الصخور المتبلورة ج ، او في مستوى وسيط ب ، تنتسب الركيزة التي تنتج عن تصلب السلسلة الى النموذج الارديني في آ ، والى النموذج الليموزيني في ب ، والى النموذج الآرمويكي في ج .

تكون قد تعرضت مسبقا لعدة مراحل التوائية . وعلى كل حال لم تتأثر الكتل بالتواء الزمن الألبي اللهم إلا ببعض الانعطافات .

هذا وقد تكون الركيزة او المجن مؤلفة من صخور متبلورة (بلوتونية ومتبلورة تورقية) او من صخور قديمة ملتوية ومتصلبة (شكل ١١٢) وعندها تكون الاشكال مختلفة كليا . فمثلا قد تقدم ركيزة ما تقاطيع غرانيتية (كرات ضخمة ، جنادل الخ) وعلى العكس اذا كانت الركيزة مؤلفة من صخور رسوبية فانها تحتوي على تضاريس ابالاشية . فتعتبر منطقة الليموزان في الكتلة المركزية الفرنسية المؤلفة كليا من صخور متبلورة مثالا عن النموذج الاول . اما منطقة الآردين الفرنسية البلجيكية فهي مثال عن النموذج الثاني في حين تنتسب الكتلة الآرمويكية في شبه جزيرة بريتانية الفرنسية والتي تضم صخورا متبلورة رسوبية اولية ملتوية الى النموذج الوسيط وهو ما ينطبق على العتبة العربية في غربي شبه جزيرة العرب .[٣٦]

---

(٣٦) تتماثل عبارة عتبة plate forme وعبارة ركيزة socle وعبارة ترس Shield في الجيومورفولوجيا

ويسمح دور التكتونيك من الزمن الحديث ايضا في تقديم مبدأ للتصنيف : فبعض الكتل جنحت قليلا كالقسم الليموزيني من الكتلة المركزية ، في حين ان الاخرى ، على العكس ، كالقسم الاوسط من الكتلة المركزية (مقاطعة اوفيرنيه Auvergne وفيلاي Velay) تعرضت لتخلع شديد ، وتقطعت الى حفر انهدامية وهورستات حتى انها تأثرت بالبركنة ايضا وهو وضع يماثل الركيزة العربية في الحجاز .

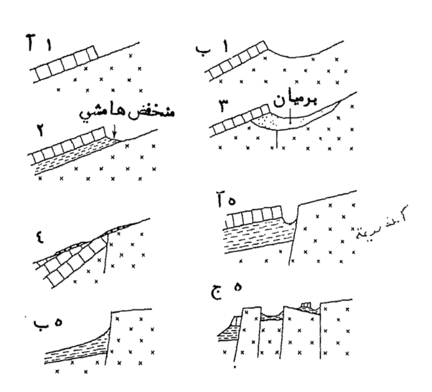
كما يؤدي وجود او غياب غطاء رسوبي متنافر (موجود في منطقة ماكونيه Maconnais ومعدوم في الليموزان) الى دخول عنصر تنوع آخر في الجغرافيا البنيوية للكتل القديمة .

رابعا ـ نماذج التماس بين الكتل القديمة وحافتها الرسوبية .

لا تتعلق اشكال التماس بين الكتل القديمة وحافتها بالبنية فحسب بل تتعلق ايضا بنظام الحت المناخي . وفي الواقع فان اكثرية الصخور التي تتشكل منها الكتل القديمة تكون مقاومة تحت المناخات المعتدلة وقليلة المقاومة تحت المناخات الحارة ، بحيث ان الكتل القديمة تكون احيانا في المناخات الحارة محفّرة متقعّرة كما في جنوب شرق الطائف بفعل الحت في حين تظل بارزة في مناطق المناخ المعتدل .

وهكذا سننطلق من نموذج ذي بنية بسيطة ونبرهن على انه يعطي تضاريس مختلفة باختلاف المناخ . وسنسنعرض بعدئذ نماذج اكثر تعقيدا .

١ ـ كتل قديمة جانحة يرقد فوقها غطاء متنافر من خرسان grès صلب أو من كلس مقاوم : لنفترض وجود كتلة قديمة جانحة تغطس بانتظام تحت غطاء رسوبي تكون اقدم طبقاته عبارة عن طبقة مقاومة



(شكل ١١٣) ـ مختلف نماذج تماس كتلة قديمة مع حافتها الرسوبية : ١. ـ كتلة قديمة جانحة يرقد فوقها غطاء غريه (خرسان) او من كلس مقاوم (١ آ : كتلة قديمة مقاومة للحت كما في جبال الفوج عند دونون ، ١ ب : كتلة قديمة فرغها الحت كما في منطقة بانفوره في الفولتا)

٢ ـ نموذج كلاسيكي عن منخفض هامشي ، ٣ ـ تماس بواسطة احواض برمية ، ٤ ـ تماس على شكل حادور Glacis
٥ ـ تماس بصدع ملحوظ في الطبوغرافية (٥ آ : بواسطة وادي خط الصدع ، ٥ ب : بواسطة جرف خط الصدع ، ٥ ب بواسطة جرف خط الصدع ٥ ج : بواسطة صدوع متعددة .
ملاحظة : لقد مثلنا دوما الكتلة القديمة بصلبان حتى ولو كانت مؤلفة من صخور رسوبية

سميكة . وتؤلف هذه الطبقة السميكة كويستا ، ولكن اذا كان المناخ لا يسمح بتفريغ الكتلة فلا نجد منخفضا لاحقا محفورا في الصخر الطري (شكل ١١٣ ـ ١ آ) . وعلى العكس إذا كان المناخ الحار يؤدي إلى تفريغ الكتلة في حين تقاوم الطبقة الرسوبية ، فإن كل الكتلة القديمة هي التي تؤلف نوعا من منخفض (شكل ١١٣ ـ ١ ب) .

ونستطيع ان نأخذ مثالا عن هذه البنية في مناخ معتدل تماس جبال

الفوج المتبلورة مع غطائها المتشكل من صخور الغريه Sandstone في منطقة دونون Donon ، وكمثال عن تماس في البلاد الحارة جرف بانفوره Banfora في بلاد فولتا العليا في افريقية الغربية .

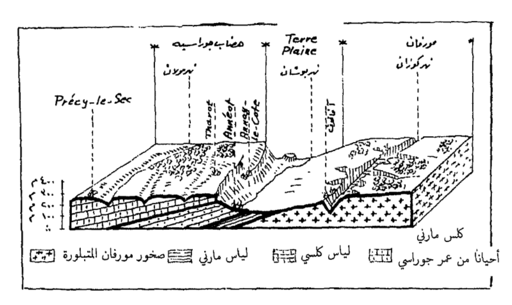
٢ ـ **نموذج تقليدي عن منخفض هامشي** Périphérique : يكون النموذج الكلاسيكي اكثر تعقيدا بقليل من المثال السابق لانه يفترض وجود تناوب طبقة قاسية وطبقة رخوة في زمرة رسوبية . واوضح مثال عن ذلك هو الحافة الشمالية لمنطقة مورفان Morvan الفرنسية (شكل ١١٣ ـ ٢) او صحراء نفوذ الدجي (٧٠٠ م) غربي جبل طويق (٩٠٠ م) في المملكة العربية السعودية ، ونلاحظ ما يلي :

ـ جنوح واضح في الكتلة التي يغطس سطح التنافر فيها (هنا شبه سهل بعد هرسيني) بانتظام تحت غطاء رسوبي مائل بدوره .

ـ وجود رزمة من طبقات طرية (قاعدة اللياس) ترقد مباشرة بصورة متنافرة فوق الكتلة القديمة . وقد استطاع الحت ان يفتك بها بسهولة وان يشكل فوقها سهل تعزيل حديث هو المنخفض الهامشي (وقد تدعى أرض السهل Terre Plaine في شكل ١١٤) .

ـ طبقة قاسية مائلة تمتطي رزمة الطبقات الرخوة . وتكون الطبقة القاسية مبتورة على شكل كويستا تهيمن جبهتها على المنخفض الهامشي .

هذا وتتفاوت الحفرة الهامشية عرضا او ضيقا حسب ميل سطح التنافر وتفاوت ميل الطبقات التي تغطي ذلك السطح . فأرض السهل أو تيربلين Terre plaine في منطقة مورفان تكون عريضة بشكل يلفت النظر وكذلك الحال عند تماس المجن العربي مع غطائه الرسوبي بين مدينتي بريدة وعنيزة وبين



(شكل ١١٤) ـ تماس كتلة المورڤان مع غطائها الرسوبي وتشكل المنخفض الهامشي لأرض السهل .

مدينة الرس بينما يكون المنخفض الذي يواكب جبال سيفين Cévennes في منطقة جوايوز منكمشاً احياناً بحيث لا يزيد عرضه عن بضع مئات من الامتار . ويندر ان يكون المنخفض الهامشي مستمرا حول الكتلة القديمة .ففي اغلب الاحيان لا يؤلف اكثر من قطاع ، عند قدم كويستا ذات مرتسم مقوس ، بيد أن الشروط الضرورية لتكوين المنخفض لا تستمر لمسافة طويلة لان الصدوع تتدخل احيانا على مقياس كبير وقد تؤدي لاختفاء المنخفض تماما او قد يمتلئ قسم من المنخفض بالكثبان الممتدة تحت اقدام الكويستا في المناخات الجافة كما في نجد ولا سيما في منطقة القصيم .

٣ ـ تماس بواسطة الاحواض البيرمية :

تتوسط ، في بعض الحالات ، رقعة ترسب محلية على شكل لوزة ، تعود لعمر وسيط بين التواء الكتلة القديمة وبين توضع الغطاء الرسوبي العام : كحال حوض أوتون Autun ، على حافة مورفان الجنوبية وحوض سان دييه Saint -Dié على الحافة الغربية لجبال الفوج . وفي كلتا الحالتين نكون تجاه

حوضتين بيرميتين ضئيلتي الرقعة ، ولكنهما تتصفان بترسب سميك . ولكن الترياس ترسب دون تمييز فوق البرمي وفوق القسم المتبلور .

ونتج عن ذلك تقوير البرمي على نطاق واسع لطراوته على العموم وذلك حيثما كان الغطاء الرسوبي مؤتكلا بفعل الحت . وهكذا يبدو الحوض وكأنه حوضة طبغرافية عميقة ، بين موائد الصخر القاسيْ الرسوبي من طرف وبين الصخور المتبلورة المنتصبة كثيرا من طرف آخر (شكل ١١٣ ـ ٣) ولكن من جهة النظر الى التفاصيل تكون الشذوذات متكررة بسبب التغيرات العديدة في سحنة faciés البرمي .

٤ ـ **التماس على شكل حادور** glacis : تكون الاشكال مختلفة تماما على اطراف منطقة ليموزان الفرنسية . والواقع هو أن سطحا حتّياً يعود للدور الثالث استطاع ان يسحج الكتلة المتبلورة والحافة الرسوبية سوية وفي آن واحد (شكل ١١٣ ـ ٤) . وقد تغطّى هذا السطح في بعض الامكنة برسوبات رقيقة ، هي الرمال الحديدية Sidérolithiques[٣٧] . ومنذ التسوية الشبه سهلية وتوضع هذه الرمال ، كان نهوض منطقة الليموزان ، في اواخر الدور الثالث ، كان متواضعا جدا بحيث لم يمنح الحت القوة الكافيةلمهاجمة التضريس بشكل جدّي : وهكذا لم يكن لدى الاودية ما يكفي من وقت لكي تتعرض ، فظلت عبارة عن دهاليز ضيقة بسيطة وظل شبه السهل سليماً فيا بينهما ، وبذلك يتم الانتقال من الرسوبي الى المتبلور فوق شبه السهل هذا والمائل بصورة خفيفة على شكل حادور ، دون الانتباه الى التباين الليتولوجي .

---

(٣٧) غضار أصفر مشحون بحمصات الليمونيت يبدو على شكل طبقات غير منتظمة أو على شكل جيوب وهي ترسبات قارية تحت مناخ حار تعود لآخر الميوسين ولمطلع الاوليغوسين .



٥ ـ التماس بواسطة صدع ملحوظ في الطبغرافيا : ان التماس بواسطة الصدوع بين كتلة متبلورة والحافة الرسوبية هو من الامور المألوفة كثيرا (شكل ١١٣ ـ ٥) ففي كثير من الحالات تمت تسوية الصدوع ولكنها لم تنبش ، وبذلك نعود إلى النموذج السابق ، ولكن الصدع الهامشي يمكن ان يظهر ايضا في الطبوغرافيا :

آ) يمكن ان نشاهد **وادي خط الصدع** (شكل ١١٣ ـ ٥ آ) (مثال ذلك حافة مورفان الغربية شمال جبل Vigne) بين القسم المتبلور وبين الكلس الهامشي ، وكلاهما قد سواهما الحت على شكل شبه سهل ، على نفس المستوى .

صورة جوية لصدع ليمانية في أواسط فرنسا
قطاع طوله ١٣ كم . ويقع القسم المتبلور إلى اليمين
والأراضي الرسوبية إلى اليسار
مرتسم شبه مستقيم

ب) إذا استطاع الحت التفاضلي أن يتقدم ويمارس عمله أكثر مما سبق فإن التماس يتم بواسطة **جرف خط صدع** بديع (والصفة تعود للجرف) (شكل ١١٣ ـ ٥ ب) ، كما هي الحالة على حواف متعددة في الكتلة المركزية ، ولا سيما في منطقة فيلافرانش دو رويرغ .

جـ) هذا ويمكنا أن نجد تعقيدات كبيرة إذا كان التماس مهشماً بالصدوع (شكل ١٢٣ ـ ٥ جـ) .

الجزء الثالث

الجيومورفولوجيا المناخية أو النطاقية

الفصل الأول
مدخل ـ المناخات في الماضي

تمهيد ـ تعني الجيومورفولوجيا المناخية أو النطاقية دراسة منظومات الحت الحيوي المناخي « الحيناخي » Bioclimatiques، أي مجموعة تطورات الحت والتراكم العائدة لشرائط الحرارة والرطوبة والغطاء النباتي الخاص بكل نطاق مناخي كبير .

ـ مقدمة

إن لاهتمامنا بهذه الدراسة هدفين :

١ ـ تسمح لنا أولاً بفهم خصائص وأصالات مورفولوجية كل نطاق .

٢ ـ نظراً لأنه سبق لكل نطاق أن خضع في الماضي لتعاقب مناخات مختلفة ، فإن المنظومات المناخية الغابرة لم تعدم أن خلفت فيه آثارها وبصماتها .

فالمناخ الحالي لا يسود فعلاً فوق اوروبا الغربية وأمريكا الشمالية إلا منذ فترة قصيرة جداً من وجهة النظر الجيولوجية ـ حوالي عشرة آلاف من السنين ـ لم تستطع الأشكال خلالها أن تستبدل معالمها السابقة بصورة كاملة . وفضلاً عن ذلك فإن الشروط الحالية في اوروبا الغربية أصبحت ، منذ العصر الحجري

الجديد ، أي منذ خمسة آلاف سنة ، أي من العصر الذي حلت فيه الزراعة مكان الصيد البري والبحري والقطف في المنظومة الاقتصادية ، أقول أصبحت تحت هيمنة الدور الحتي الكبير فوق الأرض المحروثة التي كان يغشاها قبل ذلك الغطاء الغابي . فالنظام الحتي الذي يتطور تحت أبصارنا هو عبارة عن نظام ناتج عن تدخل الإنسان ، أو النظام الحتي البشري ، وهو اصطناعي قبل كل شيء ، والذي لم يمارس دوره فعلاً إلا منذ فترة قصيرة جداً . ولهذا يجب أن نعيد هذا النظام الحتي لمقياسه الحقيقي وأن نبحث في مناخات الماضي عن العوامل المسؤولة عن الجيومورفولوجيا الحالية .

هذا ولكل مناخ **غطاءه النباتي** المناسب والذي يؤثر على سير تكييف التقاطيع المورفولوجية ، وهكذا نلاحظ أن الغابة تكبح جماح الحت بنسبة عظيمة ، لأن الجهاز الورقي الكثيف يباطىء من مفعول المطر ، فلا يسمح إلا بتساقط عدد محدود من القطرات ، ومع بعض التأخير ، كما أن غطاء الأوراق الميتة فوق الأرض ، بالإضافة إلى شباك الجذور ، يقومان سوية بتخفيف حدة الحت إلى أدنى مقدار ، كما لا تتدخل الحوادث النادرة التي تستشيطه وتهيجه إلا فيما ندر ، كانقلاع بعض كدرات التربة بفعل جذور شجرة ساقطة على الأرض .

غير أن السهب ولا سيما الصحراء يسمحان بظهور الأرض عارية وتصادف هذه التشكلات النباتية تحت المناخات الحارة والقاحلة ، وكذلك الحال تحت المناخات الباردة ، إذن هناك بعض العوامل الحتية ، كالريح مثلاً ، التي تمارس دورها تحت مناخات شديدة الاختلاف كمناخ الصحراء الكبرى ومناخ ايسلندا ، ولكن ذلك بالتمازج مع طرائق حرارية شديدة الاختلاف في كلا البيئتين .

والمفهوم الهام في الجيومورفولوجيا هو مفهوم **الأزمة المناخية** . وفي الحقيقة لا تستطيع الكثير من النباتات أن تتواءم ، بعد تبدل المناخ ، مع الشروط الجديدة وكثيراً ما يتخرب الغطاء النباتي ريثما يؤدي انتقال البذور الغريبة إلى نشوء غطاء نباتي جديد . وبذلك نكون موقتاً تجاه أشد مظاهر الحت حدة ، لأن الترب المهيئة بواسطة التفسخ في الفترة السابقة قد تتعرض لانجراف عنيف . ولهذا كان علينا عند محاولتنا تخطيط واستعادة التاريخ الجيومورفولوجي أن لا نأخذ بعين الاعتبار المناخات الماضية فحسب بل تلك الأزمات التي تعمل على هياج الحت واستشاطته مؤقتاً .

ثانياً ـ المناخات الرئيسية القديمة وطرائق تحديدها .

إن المناخات القديمة Paléoclimats التي لعبت دوراً كبيراً في التاريخ المورفولوجي للأشكال الحالية هي التالية :

ـ المناخ المداري في المناطق المعتدلة خلال **القسم الأول من الدور الثالث** .

ـ كان مناخ أوروبا الغربية في **القسم الثاني من الدور الثالث** (الميوسين والبليوسين) من النموذج الحار ولكن غير مداري .

ـ الفترة الانتقالية بين البليوسين والرباعي ، أو **الفيلا فرانشي** وظهرت خلالها أوائل الذبذبات بين المناخ الحار والمناخ البارد .

أما مناخات **الدور الرابع** فتستحق دراسة دقيقة لأن هذه الحقبة تهمنا لطابع حداثتها أولاً ولأهمية دورها في التقاطيع الحالية ثانياً . وأخيراً لسرعة التبدلات المناخية أثناءها .

ونحن نعرف هذه المناخات بطرائق مختلفة :

ـ المعلومات التي يقدمها علم **ما قبل التاريخ** préhistoire والـذي يقـدم لنا أدوات من صنع الإنسان القديم مختلطة بترب المناخات البائدة .

ـ يشير تراكم الطورب أو الخث Peat في المستنقعـات إلى تعـاقب كامل من القـاعـدة حتى القمـة . ويحوي كل سـاف من الطورب بـالفعل الأبواغ pollens (غبـار الطلع) الصـادرة عن الأنواع النبـاتيـة المجـاورة للمستنقـع . ويـزودنـا **التحليل البوغي** pollinique ، أو الذي يسمى palynologique إذن بمعلومات عن النباتات وبالتالي عن مناخ كل عصر .

ـ ولتحديد تأريخـات العمر المطلق أكتفى العلمـاء سـابقـاً بـدراسـة وحول البحيرات الواقعة في مقدمة جبهات الجموديـات والتي تبـدو على شكل وريقـات أو أحزمة Varves ناتجة عن تعـاقب توضع شتوي وتوضع صيفي . ففي الشتـاء يكون ذوب الجمودية ضئيلاً بـالواقع لهـذا يسود على الترسب الطـابع العضوي ، وفي العكس ، خلال الصيف ، حيث تسـود الحطـاميـات وتكـون الطبقـة أكثر سماكة . وعند احصاء الوريقـات الحزاميـة يمكن التوصل لإقـامـة تـأريخ دقيق نسبياً .

أما في أيامنا هذه فيعتمد على تأريخات النشاط الإشعاعي .

ثالثاً ـ الرباعي : الزحوف الجمودية .

لقـد سمحت بعض هـذه الطرائـق ، المتضـافرة مـع الـدراسـة الميـدانيــة ، بالاعتقاد بـأن الـدور الرابع قـد تعرض إلى **عـدة حقب** جموديـة منفصلـة عن بعضها بحقب فاصلة بين الجموديات Interglaciaires تميزت بمناخ دفىء ، أي مناخ مماثل للمناخ الحالي أو أكثر حرارة منه بقليل . أما في جبـال الألب فقـد أمكن تمييز أربعة زحوف جمودية لقبت بأسماء الأنهار الباڤارية :

- الأول : غونز Gunz

- الثاني : ميندل Mindel

- الثالث : ريس Riss

- الرابع : فورم Würm

ومن الملحوظ أن أسماء الزحوف الأربعة تتعاقب حسب الترتيب الهجائي بالنسبة للأبجدية الفرنجية مما يساعد على حفظها (شكل ١١٥) .

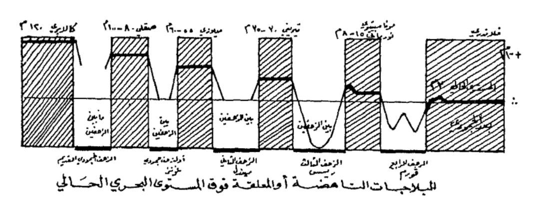
هذا وقد غطت القبعات الجمودية الكبرى ، في أمريكا الشمالية ، جزءاً من القارة في أربع مناسبات ، وعليه نميز هنا أيضاً زحوف تحمل اسم أربع ولايات أميركية هي :

- نبراسكا .

- كانساس .

- ايللينوا .

- ويسكونسن .



(شكل ١١٥)

كما دلت الدراسات الكلاسيكية التي جرت في السهل الشمالي الألماني على وجود ثلاثة زحوف جمودية دعيت بأسماء أنهار في ألمانيا وبولونيا :

- ايلستر Elster
- سال Saale
- الفيستول Vistule

(وهنا يكون الترتيب الأبجدي الأجنبي ملحوظاً على خلاف العرفية الأميركية nomenclature) .

والحقيقة لا يزال تاريخ الزحفين الاوربيين أي زحف غونز وميندل غير معروف تماماً ، ولا داعي للدهشة إذا لم نجد ، فيما عدا جبال الألب ، زحفاً يكافىء زحف غونز ، ولهذا يجب أن نوازن وأن نجد التوازي بين زحف ميندل وايلستر ، وبين ريس وسال ، وبين فورم وفيستول .

ونعرف أن زحف فورم وهو آخر الزحوف قد امتد من فترة تعادل ٦٠٠٠٠ سنة قبلنا إلى ١٠٠٠٠ سنة قبلنا ، أما الحقبة الفاصلة بين ريس وفورم فقد كانت نسبياً قصيرة (٢٠٠٠٠ أو ٣٠٠٠٠ سنة) . أما زحف ريس فقد استمر ما بين ١٣٠٠٠٠ إلى ٩٠٠٠٠ أو ٨٠٠٠٠ سنة قبلنا . أما الفترة الفاصلة بين ميندل وريس فقد استمرت مدة طويلة نسبياً .

أما في الصحارى فلم تتشكل جموديات مطلقاً . ولكن بينما كانت الزحوف الجمودية تغطي جبال الألب وشمالي أوربا وقسماً كبيراً من أمريكا الشمالية ، كانت الصحاري تتعرض لفترات أكثر مطراً من المناخ الحالي : تلك هي الفترات المطيرة Pluviaires . وقد أمكن التعرف على بضع فترات مطيرة في المملكة المغربية وفي سورية حيث عثر على مستويين من القشرة الصحراوية

التي تشهد كل منها على فترة جافة . وتعتبر هـذه الفترات المطيرة هي المسؤولـة عن المخزونات المائيـة البـاطنيـة الهـائلـة والتي وجـد أن عمرهـا يتراوح مـا بين ٢٥٠٠٠ و٢٠٠٠٠ سنة في منطقة الرياض في أواسط جزيرة العرب .

رابعاً ـ الرباعي : ما بعد الزحوف الجمودية .

منذ انتهاء آخر زحف جمودي ، أصبح المناخ مماثلاً لمناخنا الحالي . بيد أن الـزحف الجمـودي لم ينتـه دفعـة واحـدة . فقـد حـدث أول تسخن يـدعى فترة آلليرود Allerod وذلـك بين ١٢٠٠٠ إلى ١١٠٠٠ سنـة قبلنـا ثم عـودة البرد بين ـ ١١٠٠٠ سنـة و١٠٠٠٠ سنـة ، وبعـدئـذ لم تـؤد التغيرات المنـاخيـة لأكثر من تبدلات طفيفة .

هذا وقد تعرضت الفترة التاريخية لبعض التغيرات . فبين عـام ١١٠٠ حتى ١٣٠٠ ميلادي يبدو أن المناخ كان على درجة كافيـة من الحرارة ممـا أدى لتوسع الزراعة على حسـاب اجتثـاث الغـابـات في أوروبـا . وعلى العكس ابتـداء من ١٣٠٠ حتى ١٩٠٠ ميـلادي ، كان المنـاخ أكثر برودة ، وقـد بـدأت هــذه الفترة بـالمجـاعـات التي ظهرت في بـدايـة حرب المـائـة عـام . ويسمى بعض العلمـاء البريطـانيين عـودة البرودة هـذه بـالعصر الجمـودي الصغير ، لأن الجمـوديـات في جبـال أوروبـا الغربيـة تقـدمت قليلاً بـالفعل ، حتى أن جموديـات مون بـلان كادت أن تحجز وادي شـامـونيكس . ومنـذ ١٩٠٠ أصبحت المنـاطـق المعتـدلـة وخاصة المناطق القطبية الشمالية أكثر حرارة مما سبق بحيث بلغت الزيـادة أكثر من درجة مئوية على الأقل .

غير أن هـذه التبـدلات المنـاخيـة الصغيرة لم تكن ذات تـأثير مورفولوجي كبير ، ولكن الفترات الكبيرة الدافئة التي حـدثت في الـدور الثـالث تركت في مناطق العروض الوسطى توضعات مميزة معهودة في الأقطـار المـداريـة ، كما أن

فترات الزحوف الجمودية بصمت طابعها بشكل قوي على قسم كبير من العالم .

وتشير دراسة ظهرت في شهر تموز ١٩٨٠ أن العلماء الذين يدرسون أثر إبادة الغابات على المناخ يرون نتيجتين متناقضتين :

ـ هناك فئة تتوقع ارتفاعاً في الحرارة الوسطى في العالم ناجماً عن أثر ثاني اوكسيد الكربون الناجم عن حرق الأشجار ومصادر الطاقة المستحاثة من فحم ونفط . وتشير أسوأ الاحتمالات إلى ارتفاع معدل الحرارة بمقدار ١,١ درجة مئوية فوق المعدل الحالي خلال السنوات السبعين المقبلة ، مما سيؤدي إلى ذوبان الطبقة العليا من الثلوج القطبية وارتفاع مياه البحار أكثر من ستة أمتار أي إلى غرق معظم المدن الساحلية في العالم .

ـ أما الفئة الأخرى من العلماء فتظن أن اقتلاع الأشجار سوف يتيح للأرض أن تعكس مقداراً أكبر من أشعة الشمس ، مما سيخفض درجة الحرارة حول العالم . وقد يسفر ذلك عن نتيجة جانبية هي تبدل في معدل هطول الأمطار يحمل الجفاف الدائم إلى مساحات زراعية واسعة في أمريكا الشمالية وأوروبا الغربية هذا فضلاً عن أثر تلوث سطح البحار بفضلات النفط أو لانفجار ناقلات البترول الضخمة مما يحول دون التبخر من فوق سطح البحار ، ويزيد من سرعة الزحف الصحراوي باتجاه منطقة الساحل الواقع جنوب الصحراء الكبرى وفي شمال شرق البرازيل ، ويزيد أعداد الجياع في العالم الذين يربو عددهم حالياً عن ٦٠٠ مليون نسمة .

الفصل الثاني

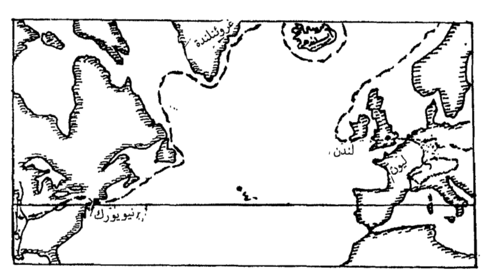
نظام الحت الجمودي

تمهيد - نهتم بدراسة نظام الحت الجمودي أولاً : لأن هذا النظام لا زال يعمل حتى أيامنا هذه في النطاقات المتجمدة ، وثانياً : لأن الجموديات اتسعت في خلال الفترات الباردة من الرباعي لمسافات أبعد بكثير مما هي عليه اليوم ، كما أنها ساهمت في تكييف تقاطيع مناطق واسعة تحررت اليوم من جمودياتها ، وحيث نستطيع رؤية الطابع الجمودي عليها .

☆ ☆ ☆

تشغل الجموديات اليوم رقعة تقارب ١٥ مليون كيلو متر مربع ، أي تشغل رقعة تعادل مرة ونصف مساحة قارة أوروبا . أو تعادل رقعة الوطن العربي قاطبة . ويقع القسم الأعظم من هذه المساحة تحت القبعتين الجموديتين الكبيرتين أي القارة القطبية الجنوبية وجزيرة غروئنلندة . أما الباقي ، وهو المؤلف من جموديات جبلية أو من ألسنة ممتدة في حضيض الجبال والناجمة عن تلاحم جموديات جبلية ، فلا يمثل سوى ٣ ٪ من المساحة الكلية للجموديات .

وفي خلال الزحف الأقصى للجموديات الرباعية ، كان الجليد يغطي على ما يبدو أكثر من ربع اليابسة ، أو ٤٢ مليون كيلو متر مربع ، أي أكثر بمقدار ٢٧ مليون كيلومتر من الوقت الحاضر. أي أن الجليد انحسر من فوق رقعة تزيد مساحتها عن ضعفي قارة أوروبا ، رقعة تسود عليها المورفولوجيا الجمودية .



(شكل ١١٦) ـ التوسع الأقصى للجموديات الرباعية الكبرى على جانبي المحيط الأطلنطي حسب الخطوط المتقطّعة

أولاً ـ الجموديات الحالية .

تظهر الجموديات الحالية حسب أبعاد متفاوتة للغاية . فبعضها يتضاءل حتى يصبح عبارة عن لطخات من الثلج الدائم . ذاك هو الثلج المرصوص Nevé . وفي مقابل ذلك نجد **الجموديات القارية** Inlandsis التي هي عبارة عن مساحات شاسعة من الجليد القاري . وتنتج جميعاً نفس الظاهرة ألا وهي تكدس الثلج من عام لآخر .

هذا ولا تتشكل الجمودية إلا فوق الحد الأدنى للثلوج الدائمة . ولكن قد تنتهي الجمودية تحت هذا الارتفاع لأن الجليد يجري نحو الأسفل ولا يذوب فوراً . فجمودية بوسون Bossons في كتلة مون بلان تنتهي عند ارتفاع يقل عن ١٣٠٠ م في حين يقع ارتفاع الثلوج الدائمة عند ٢٨٠٠ م . وفوق مستوى الثلوج الدائمة لا تكون المساحات كلها مغمورة بالجليد . فبعض القمم تخلو من الجليد ، باستثناء قشرة رقيقة من الصقيع verglas لأن هذه الذرا تكون مفرطة الانحدار مما لا يسمح للثلج بالاستقرار فوقها ، ويطلق عليها اسم مستعار من لغة الأسكيمو ، وهو نوناتاك nunatak .

واستناداً إلى أوضاع الجموديات يمكن أن نميز فيها خمسة نماذج :

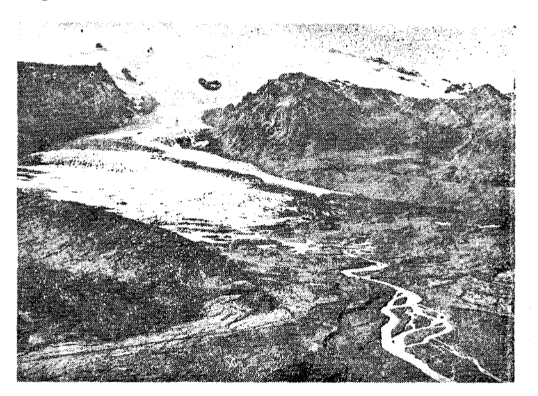
١ - **الجموديات القارية** Inlandsis : وهي عبارة عن مساحات واسعة من الجليد ، كالقارة القطبية الجمودية التي تمتد على مساحة تبلغ ١٣ مليون كيلومتر مربع في حين تبلغ مساحة القبعة الجليدية في جزيرة غروئنلندة ١٦٥٠٠٠٠ كيلومتر مربع أو تقارب مساحة الجماهيرية الليبية . ولا تقل سماكة الجليد وسطياً عن ٢٠٠٠ م . ويفسر هذا التكدس العظيم ببطء الذوبان تحت هذه المناخات الباردة بالموازنة مع الثلجية التغذية مع أن مناخ هذه المناطق يتصف بجفافه لأن معدل التهطال لا يزيد كثيراً عن ١٥٠ مم بالعام . كما تكون سرعة جريان الجليد بطيئة جداً والتبخر شبه معدوم .

هذا ويشكل ماء الذوبان ، فوق جليد الجمودية القارية ، في كل صيف ، تيارات تحفر خوانق متعمقة لبضعة أمتار تدعى **بيديير** bediéres ، قبل أن تختفي في آبار تدعى **طواحين** moulins وهي عبارات مستمدة من لهجات سكان الألب ، ولكنها تناسب بشكل فريد ظواهر الجموديات القارية .

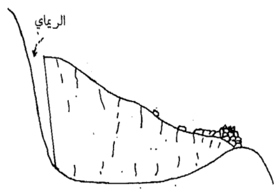
هذا وتمتد بعض الألسنة من الجمودية القارية حتى البحر حيث تعمل أمواج البحر وتيارات المد والجزر على تجزئتها إلى جبال جليدية أو Icebergs آيسبرغ .

٢ - **القبعات المحلية** : وهي أصغر رقعة بكثير وأقل أبعاداً من الجموديات القارية ، ولكن القبعات المذكورة تغطي جبالاً برمتها وتستطيع أن ترسل ألسنة متشعبة من أطرافها . تلك هي حالة الجهاز الجمودي في جبال رينييه Rainier في غرب الولايات المتحدة ، وهي عارة عن نموذج عما كانت عليه كتلة كنتال الواقعة في الكتلة المركزية الفرنسية خلال فترات الزحوف الرباعية .

٣ ـ **جموديات الحلبة** : نجد في الجبال التي تتجاوز قممها مستوى خط الثلوج الدائمة بقليل جموديات تستقر غالباً في حلبات cirques كما في أخفض مناطق الجبال القطبية أو شبه القطبية ، أو في جبال المناطق المعتدلة والمدارية . والجمودية الممثلة في (شكل ١١٧) تعتبر ذات أبعاد صغيرة وتقع تحت



صورة رقم ١٣ ـ قبعة جمودية ولسان جمودي : لاحظ المورين الأوسط ، والشقوق والمجرى المائي المترنح الذي يبني سندور أو ما يشبه مخروط الانصباب في السيل (جزيرة ايسلندا) .



(شكل ١١٧) ـ جمودية الحلبة (مقطع) ، والريماي ، والمورين .
لاحظ الحاجز الصخري الذي يغلق الحلبة في سافلتها ، والذي لا نجده في كل الحالات .

هينة جدران صخرية شبه عمودية ، تهبط منها المهيلات الثلجية التي تؤمن تغذية الجمودية .

ويطلق على الشق الفاصل بين الجدار الصخري والجليد الذي ينفصل عنه والذي يبدو فاغراً ، اسم ريماي rimaye أما المورين ، الذي يتألف من توضع الأنقاض الصخرية المنقولة ، فيستقر في النهاية السفلى للجمودية .

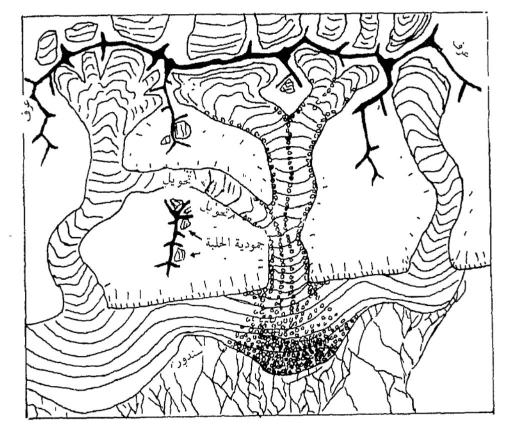
٤ ـ **جموديات الوادي :** تبدو جموديات الوادي ، والتي تكثر في الجبال الألبية ، تبدو أساساً وكأنها ألسنة تتلقى في عاليتها جموديات رافدة .

ويتصف اللسان الجمودي بطبوغرافية محدبة لأن الذوبان يكون أشد قوة عند الأطراف . ويكون سطح الجليد مستوراً بصورة متفاوتة بتوضعات تدعى المورينات (شكل ١١٨) . وتتألف **المورينات الجانبية** من أنقاض صخرية سقطت من فوق الجمودية ، أو مقتلعة بفعل الجمودية من جدران الوادي ، وعندما يتحد تياران من الجليد ، يتشكل **المورين المتوسط** بفعل تضافر تياري مورين جانبي . هذا وتستطيع الجمودية أن تنقل حجارة في داخل كتلة الجليد ، فتؤلف ما يسمى **بالمورين الداخلي** ، ولكن يبدو أن هذه الحمولة الداخلية تنحصر بكميات زهيدة لأن الأنفاق التي حفرت لجر مياه باطن الجموديات بقصد بناء مراكز كهرمائية لم تصادف ، في أغلب الحالات ، سوى القليل من الجلاميد التي حملها الجليد . وعلى نقيض ذلك تمثل **مورينات القاع** المؤلفة من جلاميد ومن أنقاض صخرية مجروشة فوق القاع ، تمثل حجماً كبيراً نسبياً . وأخيراً توضع الجمودية فوق جبهتها الأنقاض المنقولة ، التي تسمى أيضاً **المورين الختامي أو الفالوم الموريني** vallum .

[١]ولا تكون كل أشكال التراكم هذه مقتصرة على جمودية الوادي ، ولكن في

هذا النموذج من الجوديات يمكن تطبيق المصطلحات الجمودية على خير وجه .

٥ ـ جموديات البيمونت : إذا كانت هناك عدة جموديات وديانية جيدة التغذية بحيث تصل حتى خارج الجبل ، فإنها تستطيع بناء قويسات lobes بيمونتية يمكنها أن تتلاحم فيا بعد (شكل ١١٨) . هكذا كانت حالة الجموديات الألبية خلال الفترات الباردة . وفي الوقت الحاضر نجد أمثلة منها في آلاسكا ، مثل جمودية مالاسبينا . وقد تصل جموديات كهذه إلى نطاق قد



(شكل ١١٨) ـ الألسنة الجمودية وجمودية البيموت piedsmont .

لم يرمز للموريات إلا فوق الجمودية المركزية على شكل دوائر صغيرة جداً . لاحظ المورينات الجانبية ، والمتوسطة ، والختامية . أما المورين الختامى فلا يكون هنا على شكل فالوم بل عبارة عن تكدس غشائي ، لأن المنطومة الممثلة أقرب للنمودج الآلاسكي منه للنموذج الألبي .

أما شبكة مجاري ماء الذوبان فتميز نطاق التكدس المسمى التكدس النهري الجمودي الوافع في مقدمة الجبهة ، أي الساندور .

يكون دائم الدفء ، مما يمنح **ظواهر الذوبان أهمية** فريدة ، بحيث لا تقدم مورينات صرفة بل أكداساً من **لحقيات غشائية .**

ثانياً ـ تطورات الحت الجمودي .

ينجم الجليد عن تحول الثلج . فطبقة الثلج تحتوي ، بعد سقوطها مباشرة ، على الكثير من الهواء كما تكون كثافة الثلج ضعيفة (٠,١ وسطياً) . وبتأثير الارتصاص ، والذوبان ، وتكرر الانجماد المتعاقب ، يتحول الثلج إلى ثلج مرصوص Nevé يماثل هشيم الجليد ، وذي كثافة تقارب ٠,٦ ، وبعد سنوات عديدة ، يتحول إلى جليد صرف كثافته النظرية ٠,٩ ولكن بالواقع تبلغ ٠,٨ إذ تبقى فيه بعض الفقاعات الهوائية .

ومن المعلوم أن الجليد لا يكون راكداً ، بل يجري من العالية إلى السافلة . وقد أمكن قياس السرعة السطحيّة للجليد والتي تكون **أشد قوة في وسط الجمودية مما هي على أطرافها بتأثير الاحتكاك .** ولكن هذه السرعة تختلف كثيراً من مكان لآخر ، فتكون **بطيئة جداً بالنسبة للجموديات القارية** ، بينما تصبح **شديدة جداً فوق** ألسنة حافاتها وفوق الألسنة الألبية الكبرى ، مثلما تختلف السرعة حسب الانحدار وحسب الفصول .

وتطرح حركة الجليد مشاكل معقدة بالنسبة لفيزيائية السوائل والتي لن نتعرض لها هنا . وعلى كل حال يبدو من المؤكد أن لدونة plasticité الجليد ليست كاملة ، إذ ينفصل الجليد أحياناً عن قاع السرير ، كما يكون قَصِفاً cassant ويتشقق .

وتتباين آراء علماء الجموديات بالنسبة لتقدير الطريقة الإجمالية لعمل

الجليد . فبعضهم يرى أن الجليد يعمل كثيراً ، بينما يعتقد الآخرون أن عمله ضئيل جداً ، ولكن هناك من يتبنى نظريات وسيطة بين الرأيين . ومن المحتمل جداً أن حدّة العمل الجمودي تختلف باختلاف الأمكنة ، وأنها تتعلق خاصة بسرعة الجليد ، وبسمكه ، وبطبيعة صخور السرير الجمودي .

أما من وجهة النظر التفصيلية فإن الجليد يقوم بكشط سريره بالاستعانة بالجلاميد التي يتلقفها . وهكذا يشكل في الصخور التي يجري فيها **ثليمات** stries يبلغ عمقها بضعة ميلمترات على طول بضع عشرات السنتيمترات ، مثلما يقوم الجليد **بصقل** الصخور وذلك ليس فقط على طريق مروره ، بل يستخدم الأنقاض المسحونة ، كالرمل المبلل ، كأداة صاقلة ، والذي يدعى الطحين الجمودي . ونظراً لشدة احتكاك الجمودية بالصخر فهي تؤدي إلى تدوير نتوءاته وتحول صخور مجراها إلى **صخور غنمية** roches moutonnées ، أي كمنظر سطحي لقطيع من الخراف .

هذا ويقوم الجليد أيضاً بحتّ أشد بواسطة **اقتلاع الجلاميد** ، وخاصة من فوق المنحدرات الشديدة المتجهة نحو السافلة ، وذلك بقلع الجلاميد المحدودة بفصماتها diaclases . ولكن هذين العملين لا يتعارضان بحيث لا ينفي أحدهما الآخر . فبعد انقلاع الجلمود يقوم الصقل بتدوير الحروف الحادة الناتئة .

هذا ولا تكيّف الجمودية سريرها فحسب بل تكيّف الأنقاض التي تحملها . وهكذا تكون **مواد مورينات القاع** أكثر جرشاً من المورينات السطحية ، ولهذا تحتوي على نسبة أكبر من الطمي الناعم . ولهذا تتميز بشدة تباين مقاييس حباتها ، والغضار وحده هو الذي يُفتقد في أكثر الأحيان . **أما مورينات السطح** فتتألف خاصة من أنقاض خشنة . ويطلق على أكبر جلاميدها اسم **الجلاميد التائهة** .

وتتميز كل هذه الأنقاض الجمودية عن الأنقاض التي تحملها مياه ذوبان الجمودية الجارية فيما بعد الجبهة الجمودية والتي تدعى الأنقاض **النهرية الجمودية** . وتتصف الأنقاض النهرية الجمودية باستدارتها على خلاف الأنقاض الجمودية المألوفة . مثلما تكون ذات أبعاد متقاربة وتشتمل من ناحية على حصباء galets ، وعلى رمال خشنة من ناحية أخرى .

ثالثاً ـ الأشكال الجمودية

١ ـ **الحلبة :** بما أن جمودية الحلبة هي أكثر أشكال الجموديات أبعاداً ، فإن الحلبة تكون بالتالي إحدى أكثر الأشكال الجمودية بساطة . فهي منخفض على شكل نصف دائرة تشرف عليه جروف شبه قائمة . وهناك حلبات من كل المقاييس : فأحياناً تكون عبارة عن نقرات niches لا يزيد عرضها عن بضع عشرات الأمتار ، وأحياناً أخرى على شكل مدرجات واسعة تنتهي عندها عالية الأودية الجمودية . وعلى كل يجب أن نميز :

ـ حلبات على شكل نقرات متشبثة على خاصرة الجبل . ولأكبر هذه الحلبات البدائية قاع منبسط أو ضعيف التموج يشتمل أحياناً على بحيرة صغيرة (شكل ١١٩) .وقد تكون هذه الحلبة مغلقة باتجاه السافلة بانحدار عكسي يحجزها .

ـ وهناك حلبات معقدة ، على شكل درجات ، تقطع رأس جمودية بكامله . تلك هي حالة حلبة غافارني Gavarnic في جبال البيرينيه العليا .

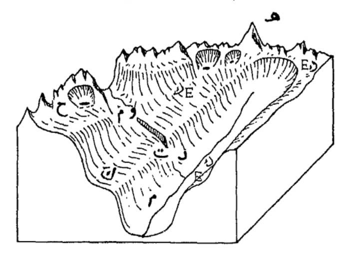
وتحوي الجبال التي تقصّصها الحلبات **أعرافاً محززة على شكل أسنان المنشار أو سروات** Sierra ، لم تتكيّف بواسطة الحت الجمودي ، لأنها كانت دوماً خالية من الجليد ، على شكل نوناتاك ، بل تكيّفت بواسطة الانجماد الذي

يصيب الجدران العارية للحلبات . وقد يحدث أن ينتصب عند نقاط تقاطع الأعراف هرم يدعى **هورن** horn (شكل ١١٩) يشرف من عل فوق السوية العامة لأسنان المنشار مثال ذلك جبل **سيرفان** Cervin في جبال الألب السويسرية .

ولتفسير تشكل الحلبات يذهب بعض المورفولوجيين إلى أن ذلك يعود فقط لتطوير حوض استقبال سيلي بفعل الجليد ، بينما يرى الآخرون إلى أن الجليد والثلج قادران لوحدهما على حفر حلبة دون وجود شكل مورفولوجي سابق مجهز سلفاً .

٢ ـ **الوادي الجمودي** : ونجده في الجبال بشكل خاص حيث ينتج هناك عن عمل اللسان الجمودي . وقد اعتبر العلماء في أكثر الأحيان أن الوادي الجمودي ، والوادي على شكل حرف U والوادي المعلفي هي عبارات مترادفة .

الحقيقة أن للعديد من الأودية الجمودية شكل معلف مميز مع خواص منتصبة وقاع منبسط . وعلى كل فإن انبساط القاع يعود في كثير من الحالات إلى انطماء بحيرة قديمة بفعل النهر الذي يجري في الوادى :



(شكل ١١٩) ـ نموذج الضريس الجمودي الألبي

م ـ معلف . وم ـ واد معلق . د ت ـ درجة رفد مع خانق الارتباط . هـ ـ هورن . ك أو E ـ كتف (لاحظ الصخور الغنمية) . ح ـ حلبة (لاحظ البحيرات الصغيرة السوداء) .

تلك مثلاً حالة معلف غريز يفودان Graisivaudan في جبال الألب الفرنسية . وفيما عدا المناطق التي كانت تحتلها بحيرة قديمة ، فإن الوادي الجمودي يتصف على العموم بمقطع على شكل مهد ، ذي قاع غني الأرضية .

غير أن بعض قطاعات الوادي لا تكون على شكل U ، واضح جداً ، وبالفعل كثيراً ما نجد في قاع U أن نهر الجمودية التحتي ، والذي يتلقى مياه الذوبان ، استطاع أن يشكل خانقاً على شكل V .

وإذا لم يكن كل واد جمودي على شكل حرف U ، فإن كل واد على شكل U ليس وادياً جمودياً . ففي كل مرة نكون أمام محفور في صخور قاسية قادرة على الاحتفاظ بانحدار قوي على السفوح كالصخور الكلسية مثل وادي العاصي عند دركوش ، واد يزداد عرضاً بفعل النسف الجانبي (نسف بواسطة نهر كثير الحمولة ومترنح ، أو نسف بفعل تجولات الأكواع باتجاه السافلة) ، تتحقق الشروط اللازمة لنشوء واد معلفي الشكل . ويكفي أن يجري النهر فوق سرير أعظمي لحقي ذي عرض لا بأس به ، يكون منبسطاً كانبساط قاع بحيرة مردومة ، كي نحصل على معلف لحقي غير جمودي .

وهكذا لا يمكن التعرف على الوادي الجمودي بواسطة قرينة وحيدة ، بل بواسطة مجموعة وقائع : كوجود التوضعات المورينية ، والتقاطيع المتميزة بتشوشات في المقطع الطولي وفي المقطع العرضي .

آ ـ **المقطع الطولي :** وهو أحد أكثر التشوشات وضوحاً وينتج عن **انقطاعات في التوضعات المورينية وخاصة بالفالوم الختامي** الكثير الحدبات الناجمة عن المورين الجبهي .

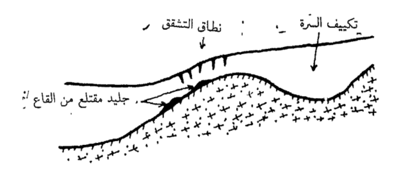
ولكن الأمر الجوهري في تقاطيع المقطع الطولي لا ينتج عن التراكم بل

عن الحت الـذي يعتبر مسؤولاً عن **الاستعماق** surcreusement أي عن حفر في السافلة على شكل ميل عكسي contre-pente .

والـواقـع يبـدو الـوادي الجمـودي على شكل تعـاقب من بقـاع عريضـة أو **السرّات** (مفردهـا سرّة) التي تكـون منـاطـق تعميـق ومن بقـاع ضيقـة أو **المـزاليـج** (جمع مـزلاج) التي تعتبر تضـاريس تحجـز الـوادي (شكل ١٢٠ و ١٢١) وأحياناً نجد بحيرة تحتل السرر التي **استعمقها** surcreusé عمل الجليد .

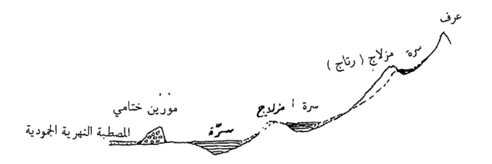
وهكذا يكون للبحيرات الواقعة في حضيض جبال الألب في سويسرا أو في ايطـاليـا ، ولبعض البحيرات الايقـوسيـة كبحيرة مـورار Morar ، يكـون لهـا أعماق تبلغ بضع مئات الأمتار ، كما يكون قاع بعضها دون سوية البحر فيكون عمق بحيرة غارد في شمال ايطاليا ٢٩٥ م دون سطح البحر . هذا كما سبق لبحيرة غريز يفودان أن انحفرت بـدورهـا حتى دون سـويـة البحر ولكن انطماء بحيرة الاستعماق هو الذي حجب المنخفض القديم .

وتقع **المزاليج** بين السرر ، وهي عبارة عن نتوءات صخرية تتخـذ شكلاً غنمياً بفعل الحت . فتـارة تقوم بحجز الوادي تمـامـاً ، بـاستثنـاء الخـانق النهري



(شكل ١٢٠) ـ مقطع طولاني في سرير يظهر فيه تكيف سرّة ومزلاج

لاحظ كيف يقدم مقطع القـاع ميلاً عكسيـاً في سـافلـة السرّة ، في حين أن مقطع سطح الجليـد يكون هـابطـاً دوماً ، ويعتريه انقطاع في الميل عند المزلاج . تكييف السرّة . نطاق التشقق . جليد مقتلع من القاع .



(شكل ١٣١) ـ مقطع طولاني لواد جمودي (خط أسود متصل) والتعديلات التي قام بها المقطع النهري بعد انحسار الجمودية (خط متقطع) .
ويكون سلم الارتفاعات مبالغاً هنا .
لاحظ البحيرات الثلاث السائرة نحو الانطماء بفعل مجلوبات اللحقيات النهرية بعد الجمودية .
وعند سافلة المورين نجد اللحقيات النهرية الجمودية التي ستؤلف مصطبة إذا استطاع النهر بعد الجمودي أن يتعمق في مكانه .

الذي يحزها ، أو بعض الفُرَيْضات encoches التي حفرتها المياه الجارية من تحت الجمودية ، وتارة أخرى تتشكل من حدبات صخرية متجاورة تترك فيما بينها ممرات عريضة . أما المزاليج فهي مواقع قلاع بعد انحسار الجمودية مثل بريانسون أو قصر كيراس في جبال الألب ، أو مواقع سدود كهرمائية حالياً .

وعند النهاية السفلى للوادي يشكل المورين الجبهي بدوره بروزاً ، وفي سافلة هذا المورين تفرش مياه الذوبان اللحقيات التي تدعى اللحقيات النهرية الجمودية .

ولا يكون من الميسور دوماً تفسير ظاهرة تعاقب السرر والمزاليج . وليس من المؤكد دوماً بالواقع معرفة فيما إذا كانت المزاليج تنطبق على انكشافات صخور قاسية وفيما إذا كانت السُرّات تحتل مواقع صخور طرية . ويرى بعض علماء الجموديات glaciologues أن المزلاج عبارة عن منطقة حت ضعيف لأن

الجمودية تكون قليلة السماكة ، في حين يعتقد الآخرون ، على العكس ، أن المزلاج ليس عبارة عن تضريس مستثنى ، بل بالأحرى عبارة عن تضريس أكثر تعرضاً للحت من السرر : أي أن الجمودية تحتفظ فوق المزلاج بميل أكثر شدة للتغلب على مقاومته . وتقبل هذه النظرية القول بأن عمل الجمودية يتعلق بسرعتها ، التي تتعلق بدورها بالميل ، أكثر من علاقته بسماكة الجليد .

ب ـ **المقطع العرضاني** : ولا يقل المقطع العرضي تشويشاً عن المقطع الطولي في الوادي الجمودي . فعندما يكون بسيطاً ، فإن شكله يتراوح بين مقطع المقلاة وبين شكل حرف V . ولا تنجم التشويشات فحسب عن المورينات التي قد تكون موجودة فيه : كتوضعات مورينات القاع ، أو الأعراف المتطاولة من المورينات الجانبية ، بل أيضاً عن **المنبسطات** replats **أو الأكتاف** epaulement (شكل ١١٩) التي تشرف على قاع الوادي من ارتفاع يبلغ بضع مئات من الأمتار وحيث تستقر القرى أحياناً فوقها . وقد تكون بعض الأكتاف بنيوية ، وفي هذه الحالة ، يمكن تفسيرها وكأنها تشويشات ناتجة عن صخور قاسية عجز الحت عن إزالتها كصخر التيتونيك tithonique أو الجوارسي الأعلى في منطقة غريزيفودان ولكن توجد أيضاً منبسطات ، أو أكتاف ، فوق خواصر أودية تكون الليتولوجيا فيها متجانسة تماماً . وهكذا تظهر مشكلة أصل الأكتاف على غاية من التعقيد ولا مجال للتعرض لها في هذا المجال .

هذا ولا تتم عملية ترافد الأودية الجمودية دوماً على سوية واحدة كما يجري بالنسبة للأودية النهرية ، إذ قد يكون الوادي أحياناً **معلقاً** فوق الآخر (شكل ١١٩) : أي يصبّ من عل ، أي من على ارتفاع يبلغ أحياناً بضع مئات من الأمتار . وهكذا نجد أن وادي كوتريه Cauterets يبدو معلقاً فوق وادي

بو Pau في جبال البيرينيه . كما قد يحدث أن يكون الوادي الرئيسي اليوم هو الذي يصب فوق واد أصبح الآن ثانوياً . وهكذا نجد أن وادي رومانش الأعلى يصب فوق وادي فينيئون Vénéon وربما كان ذلك لأن الوادي الثاني ، والذي يتمتع بتغذية أفضل بالجليد من النطاق العلوي في منطقة وازان Oisans ، كان قادراً على أن يحفر أكثر ، وعلى العكس ، فإن وادي رومانش الأعلى فَقدَ قسماً من الجليد الإضافي بواسطة ممر لوتريه Lauteret (جنوب شرق فرنسا) . ويبدو أن درجات الرفد confluence هذه إنما تنتج عن تباين حفر الجموديتين المقترنتين ، وإذا كان تواصل سطح الجليد كان يتم على سوية واحدة ، فإن مستوى القاع يكون أعمق كلما كان الجليد أكثر سماكة .

وإذا ما وجدت جمودية الوادي ممراً في خاصرة مجراها يكون مستواه دون مستوى سطح جليدها ، فإنها ترسل فرعاً يستطيع اجتياز الممر ويكيّفه فيما بعد على شكل مهد . وهكذا تشكلت ممرات عريضة تدعى ممرات **التحويل** transfluence أو diffluence (شكل ١١٨) ، والتي تكثر في جبال الألب ، أو كل الممرات التي تمر منها الطرق المعبدة ، وأقل من ذلك بكثير في جبال البيرينيه ، حيث يشكل العرف الأعلى حاجزاً أمام اجتياز أكداس الجليد ، غير أن ممر بويموران Puymorens يعتبر مثالاً رائعاً عن ذلك . ويستطيع الجليد أن يكيّف وادياً تحويلياً حقيقياً ، كحال كلوز آنسي Annecy وكلوز شامبيري Chambéry . وهكذا تبدو الجبال التي تعرضت لاجتياحات جمودية شديدة خلال الفترات الرباعية الباردة وكأنها شبكة من وديان عريضة ذات سرّات (جمع سرّة) ومزاليج مع وديان تحويلية ، كما في جبال اسكنديناڤيا وايقوسيا والألب ، مما يسهل المواصلات ويتنافر مع الأعراف العليا المقطعة بين الحلبات أو المساحات المرتفعة المتكيفة بفعل جموديات الهضبة .

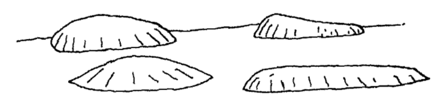
٣ ـ السهول والهضاب الجمودية :

تختلف طبغرافية الوديان والأعراف كثيرا عن طبغرافية السهول والهضاب الجمودية . وتكون هذه عبارة عن سطوح ذات تموجات متواضعة تعرف في الأقطار الاسكندنافية باسم فييل fiell أو فييلد field ، والتي تتقطع بمعالف نادرة ، غالباً ماتكون ضحلة .

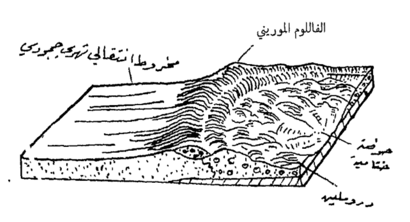
وتهيمن **الأشكال الحتية** في منطقة انطلاق الجموديات ، كما في شمال كندا ، وشمال السويدا وفنلندا ، وعلى عكس ذلك تقع أكثر نطاقات التراكم نشاطا على هامش الجمودية ، كما في ألمانيا الشمالية وشمالي السهل الأوسط في الولايات المتحدة . ولكن كثيرا ما يتداخل نموذجا الأشكال المذكوران ولاسيا وأنه يحدث أثناء تقهقر الجمودية أن يصبح مركز الجمودية القارية ، ولفترة ما ، نطاقا هامشيا .

أما المناطق التي تسود فيها **الصخور الغنمية** فتبدو كمجموعات تضريسية كثيرة الحدبات . فالحدبات التي تتكشف من فوقها الصخرات عارية ، محززة ، مصقولة بالجليد ، أو مقطّعة إلى جلاميد ، تعوم فوق منخفضات صغيرة مشغولة بستنقعات أو بحقول طوربية ، نتيجة التراكم التالي للزحوف الجمودية في المنخفضات المستعمقة . وقد تتمكن رقع مورينية صغيرة من غمر السفوح الصخرية ، ولكن لا يؤلف ذلك سوى طابعا ضئيلا في التضريس .

أما **التراكم** فيتخذ أشكالا مختلفة جدا وذلك فيا إذا كان التراكم المذكور قد حدث تحت جمودية ناشطة أو فوق هامشها . **فالدروملين** drumlins (شكل ١٢٢) هي تلال على شكل ظهر حوت البالين مع بعض التنوعات . وتكون أبعادها متباينة فيتراوح طولها بين بضع عشرات إلى بضع مئات الأمتار في حين



(شكل ١٢٢) ـ نماذج الدروملين



(شكل ١٢٣) : الفالوم الموريني

يكون عرضها أقل من طولها بثلاث إلى أربع مرات ، كما أن ارتفاعها يبدأ من خمسة أمتار حتى ٤٠ مترا . وتتجمع هذه الدروملينات عموما على شكل ميادين حيث نجد مستنقعات تفصل بين هذه التلال البيضوية الشكل . ويكون المحور الكبير للدورملينات متوازياً تقريبا ، متجهاً حسب اتجاه جريان الجمودية القديم . هذا وقد يكون للدروملين نواة صخرية أو تكون هذه النواة مفقودة ، وعلى كل يتألف الدروملين من أنقاض صخرية جلبتها الجمودية ، أنقاض لا تكون مدورة بالضرورة وغالبا ما تكون رديئة التطبق وتلعب الدروملين الدور الذي يلعبه القاع الضحل الرملي في التراكم النهري ، أي أنها تمثل نتيجة فائض محلي في الحمولة توضّعه الجمودية ، في حين أن جريان الجليد يكيّف التوضّع . وهكذا لا تكون الدروملينات سوى زيادة محلية في سماكة مورين القاع ، كيّفتها الجمودية حسب أشكال ناجمة عن حركيتها الخاصة .

أما تضريس **مورينات القاع** فأكثر غموضا وخاصة حينما لا يكون التراكم قد حدث على شكل أكداس كما هو الحال بالنسبة للدروملين . ويكون مورين القاع على شكل غطاء غير منتظم ، تارة منبسطا كما في جزء من جزيرة سيلند Seeland الدانمركية ، وتارة متموجا على شكل تلال غير واضحة التفرعات الإصبعية ، تنفصل عن بعضها ببحيرات . وعلى خلاف الاعتقاد الذي ساد لمدة طويلة ، لا يكون الغطاء الموريني سميكا مطلقا ، إذ لا يتجاوز سمكه الوسطي بضعة أمتار ويصل إلى الثلاثين إذا ما تنضدت عدة موجات مورينية فوق بعضها البعض . وهكذا يلبس الغطاء الموريني شكل تضريس ما قبل الجمودية وإن كان يطمس بعض معالمه .

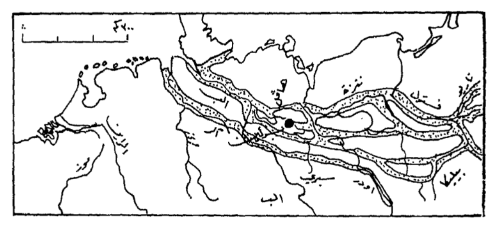
أما الأقسام التي استعمقت أكثر من سواها في الجموديات القارية inlandsis ، أي تلك التي تتطابق مع القطاعات التي كان الجليد يجري فيها بسرعة أكبر رغم احتفاظه بسماكته ، أو الأقسام الواقعة في مناطق تتكشف فيها الصخور الطرية على نطاق واسع ، كما في السويد الوسطى حيث تظهر أكثر الصخور رخاوة ، أقول لقد انحفرت الأقسام المذكورة وتحولت إلى **بحيرات** . وهذا هو أصل البحيرات العديدة في المناطق القديمة للجموديات القارية ، كتلك البحيرات التي تواكب هامش المجن الكندي .

وأكثر أشكال التراكم الجمودي تعقيدا هي أشكال **هامش الجمودية** ، أي حيث يتمازج عمل ماء الذوبان ، أي الماء النهري الجمودي ، كما يسمى ، وعمل الجليد ذاته . وفضلا عن ذلك تختلط هنا التوضعات المعاصرة لانحسار الجمودية مع توضعات الزحف الجمودي الأعظمي . وخلال التقهقر يذوب الجليد محليا كما لا يتعرض لحركة تدفعه باتجاه السافلة . وهنا يتخلع ويتصدّع الجليد على شكل كتل أو على شكل أعمدة غليظة منفصلة عن بعضها ببحيرات أو بالمياه

الجارية . وهناك اتجاه متزايد لإعطاء أهمية للأشكال الناجمة عن تراكم اللحقيات فوق أو تحت **الجليد الميت** أو فيما بين كتله .

هذا وتستطيع مياه الذوبان أن تجري بصورة متعامدة مع الجمودية وهي مبتعدة عنها ، أو أن تشكل تيارات طويلة تساير جبهة الجمودية ، وتدعى تيارات **مقدمة الجمودية** proglaciaires . هذه التيارات هي أصل منشأ الوديان الكبرى في السهل الألماني البولوني الذي تجزأ بفعل تغيرات المجاري المائية بعد انحسار الجموديات (شكل ١٢٤) . وتنطبق هذه الوديان الكبرى على عدد مراحل تراجع الجمودية القارية . وقد أطلق العلماء الألمان على هذه الأودية اسم **أورسترومتال** urstromtals . ولكن مياه مقدمة الجمودية تستطيع أن تشكل بحيرات وذلك حيثما صادفت منطقة مستعمقة أو واديا يحجزه الجليد . تلك هي حالة البحيرات الكبرى الأمريكية خلال مراحل تراجع آخر زحف جمودي .

كما ويشكل التراكم الجمودي أيضا أشكالا أخرى : مثل **أوس** os (وجمعها باللغة السويدية أوزار osar) وتبدو كنوع من ردم مماثل لردم حصى الخط الحديدي ، ولكن القمة تكون أقل انتظاما ، مع انتفاخات وأحيانا مع رؤوس



(شكل ١٢٤) ـ الأورسترمتال في السهل الجرماني ـ البولوني

(نقلا عن ب . جورج و ج . تريكار . في كتاب أوربا الوسطى ، شكل ٣)

حادة . أما على المقياس الطولي فالأوس يمكنها أن تتطاول على شكل شرطان متعرجة لمسافة تبلغ عشرات الكيلو مترات .

وتكون الأنقاض التي تتشكل منها الأوزار دوما متطبقة وجيدة الاستدارة مما يوحي بأصلها النهري . غير أن هذا التل الطويل يصعد ويهبط حسب نزوات الطبوغرافيا التي قام فوقها أحيانا دون أي اكتراث بها كما أن كثرة الميول العكسية تبدو غير متناسقة مع فرضية توضع نهري مكشوف . وهكذا يبدو أن الأوزار عبارة عن أشكال تراجع جمودي ناتجة عن مياه الذوبان التي تجولت إما في أنفاق في باطن الجمودية أو في الفواصل الواقعة بين كتل الجليد الميت . أما **الأيسكر** (كلمة إيرلندية) فهي أشكال مشابهة كثيرا للأوزار الاسكندينافية .

وهناك شكل متقعر يخلفه الجليد الميت وهو **الكتيل** Kettle ، وهو عبارة عن أثر لعمود جليدي استدعى ذوبانه زمنا طويلا ، في فترة كان العمود المذكور محاطا بتوضع اللحقيات النهرية الجمودية .

هذا وقد تتراكم في مقدمة الجمودية القارية ، في مرحلة زحفها الأقصى ، **مورينات جبهية (أو ختامية)** ذات أشكال متفاوتة في تعقيدها . والمورينات العائدة للزحف الجمودي الأخير هي الأكثر جدة ونضارة من حيث مظهرها ، وهي التي تشكل أكوام العراقيب البلطيكية .

وتؤلف الأنقاض النهرية الجمودية المفروشة في مقدمة المورينات وفي حضيضها ، تؤلف سافات من مواد خشنة عند أقدام الجبال ، ومن مواد ناعمة عند جبهات الجموديات الإقليمية (شكل ١١٨) . وتدعى هذه السهول المؤلفة من مواد ناعمة **ساندور** sandur في ايسلندا . وتؤلف في الدانمارك وفي ألمانيا الشرقية رقعا فسيحة من الأراضي البائرة ، أو اللاند landes .

أما أغشية لحقيات البيونت ، شأن الأغشية الناجمة عن الجموديات الرباعية

في جبال الألب ، فقد تعرضت للتحزيز بفعل حت ما بعد الجموديات postglaciaire وتشكل اليوم مصاطب .

رابعا ـ التشويهات الجمودية ـ التوازنية السيالية isostatiques

لقد كان من جراء ذوبان الجليد بعد التسخن المناخي رفع سوية مستوى ماء البحار . ومن المعروف بأن الحركة **الأوستاتية** eustatiques هي حركة عامة تنتاب مستوى الأساس البحري العام . ونعني بها هنا الحركة الجمودية الأوستاتية . ولكن الحركة تتجلى أيضا بحركة **توازنية سيالية** isostatiques : ذلك أن الأجزاء القارية المتحررة من الجليد تصبح متخففة ، وربما أن هذه الأجزاء صارت في حالة اختلال توازن فوق قاع من السيما ، فإنها تأخذ في النهوض تدريجيا . وهكذا تعرضت اسكندنيافيا لحركة توازنية سيالية بلغت في منطقة السعة القصوى أكثر من ٢٥٠ مترا ، أي في المنطقة الواقعة في صدر خليج بوتني . وقد أدى ذلك لنتائج ظهرت في شكل الشواطىء ، وعلى تشكل المصاطب البحرية ، وعلى الترسب .

وخلال تراجع الجموديات الاسكندنافية كان البحر يجتاح الأراضي التي عامت حديثا على أطراف البحر البلطي ، والتي كانت حينذاك واقعة دون سوية البحر بسبب الانخفاض التوازني السيالي الذي اعترى اسكندينافيا ، ولأن النهوض التالي للذوبان الجليدي لم يحدث بعد . وقد خلف هذا البحر العديد من المصاطب الشاهدة والتوضعات ، ولا سيما غضاريات **يولديا** Yoldia ، تلك الغضاريات ذات القيمة الزراعية الكبيرة في المناطق المجاورة للبحر البلطي والتي منحت البحر القديم اسم **بحر يولديا** . وقد جرت حوادث مماثلة في وادي السان لوران ، حيث احتل بحر شامبلان Champlain مناطق شاسعة ، عامت بعد النهوض التوازني السيالي .

وقبل الفراغ من الكلام عن التضريس الجمودي علينا أن نتذكر بأنه كان للزحوف الجمودية نتائج أخرى على شكل رسم السواحل ، ولا سيا المعالف الجمودية التي يحتلها البحر والتي تشكل **الفيوردات** fjords الشهيرة .

خامسا : الخلاصة

يؤدي التضريس الجمودي لظهور أشكال متنوعة جدا في الجبال وفي مناطق الجموديات القارية القديمة أو جموديات البيونت piedmont[٣٨] . وإجمالا تكون كل الأشكال الناتجة عن الجمودية نفسها فوضوية كالصخور الغنمية ، ومقاطع الأودية المعلفية والمورينات . ولكن تضافر عمل مياه البحر أو مياه الذوبان يظهر على شكل سطوح منبسطة : كسهول غضار يولديا ، واللحقيات التي تردم بحيرات مقدمة الجموديات ، والساندور ، والمصاطب النهرية الجمودية .

هذا ولكن سرعان ما تتعرض الأشكال الناتجة عن المنظومة الجمودية والنهرية الجمودية إلى الانطاس خلال الفترات الفاصلة بين الزحوف الجمودية أو في فترة ما بعد الجموديات . وفي الحقيقة تخضع هذه الأشكال إلى الانحطاط الذي يفرضه عليها نظام حت حو جمودي Périglaciaire هذا كما يعمل الحت النهري على تخريبها وذلك بردم السرر وبحز الميول الشديدة : كخوانق الارتباط بين قطاعي واد واحد أو تحزيز المزاليج ، وبين واد رئيسي ، والتخديدات السيلية في خواصر المعلف . وإذا كانت أشكال آخر زحف جمودي لا تزال تحتفظ بنضارتها فذلك لأنها حديثة جدا .

---

(٣٨) منطقة منخفضة واقعة عند تماس كتلة جبلية والتي تختلف عن السهول الحقيقية بأنها واقعة تحت هيمنة الجبل ذاته . وتظهر الهيمنة المذكورة في الترسب : فليش ، مولاس ، لحقيات ، ومورينات ، الخ . واقتبست الكلمة من سهل البيونت الواقع بين جبال الألب من الشمال الغربي وبين سهل البو الإيطالي . والبيونت عبارة عن سهل يتكيء على الجبل وتمتد أقدامه حتى السهل وهو عبارة عن تلاحم مخاريط انصباب .

الفصل الثالث

نظام الحت الحوْجمودي périglaciaire

مقدمة : لقد أسيء اختيار عبارة حو جمودي . فهي توحي بتحديد مكاني عند محيط الجموديات ، وهو مالا يتطابق دوماً مع الحقيقة . وفي الواقع هناك جموديات عديدة تنتهي في بيئة معتدلة لاتنتسب لنظام الحت الحو جمودي . وسنخصص اسم الحو جمودي للنظام الذي يلعب فيه الانجماد دوراً هاماً ، وذلك خلال شطر كبير من السنة على الأقل ، ولكن مع بقائه متقطعاً ودون أن يتغطى سطح الأرض بغطاء من الجليد طيلة العام ، أو بعبارة أخرى : يؤلف الانجماد والانفكاك ازدواجاً في تطور هام ، وليس كحادث عارض فحسب كما يحدث في المناطق المعتدلة .

أولا ـ المدخل

تكون البيئات البيومناخية الحوجمودية متنوعة . ونستطيع أن نميز فيها ما يلي :

آ) مناطق لا يكون الصيف فيها شديدا لدرجة تمنع نمو النبات ، فتكون الأرض مغطاة بنوع من مرج ، أي المرج الألبي أو التوندرا ، وهذا الغطاء يبطىء حركات التربة مثلما يحمي الصخر الأم المحلي الأسفل .

ب) **صحراء التجمند** gélivation ، وتكون على العكس ، عبارة عن نطاق يكون الصيف فيه شديد البرد ، أي دون ٦ درجات وسطيا ، أو يكون شديد القصر بحيث لا يسمح بوجود غطاء نباتي . وتكون الصخور عارية غالبا ، مما يعطي مشهدا هو عبارة عن جلاميد تشظت بفعل الانجماد .

وعلينا أن نقيم تمييزا آخر في داخل المجال الحو جمودي فنميز أولا المناطق التي يكون باطن أرضها متجمدا بشكل دائم ، والمناطق التي ينفك جليد باطن أرضها خلال الصيف . فالنطاق الأول ينطبق على المناطق التي تكون ذات حرارة وسطى سنوية تقل بشكل واضح عن الصفر (ولكن في بعض البقاع يكون باطن الأرض المتجمد مستحاثا ، وموروثا عن الفترة الفورمية ، وينكمش شيئا فشيئا) . ويوجد تحت الطبقة السطحية التي تتجمد شتاءً وتنفك صيفا ، يوجد تشكل دائم التجمد يدعى **تيال** tjale وهي كلمة لابونية ، أو **مرزلوتا** بالروسية أو **برما فروست** Permafrost بالانكليزية أو **برجيليزول** Pergélisol . ويلعب هذا التشكل دورا عظيما ، ليس فقط في استغلال المناجم ، لأنه يعفي من بناء الهياكل الخشبية في الأنفاق ، ولكنه يلعب دورا على نفس المستوى في المورفولوجيا . غير أن بعض العلماء بالغ في أهميته . غير أن وجود البرمافروست لا يكون بالأمر الحيوي اللازم لنشوء معظم الأشكال الناتجة عن النظام الحتي الحوجمودي . ويطلق على التربة الموجودة فوق التيال ، والمشبعة بالماء ، **اسم موليزول** mollisol والتي لا يتجاوز سمكها ٦٠ سنتيمترا ، والتي تلعب دور زنبرك عندما يسير فوقها الإنسان وذلك قبل أن تنساخ قدماه فيها .

ويضم النطاق الخاضع للنظام الحو جمودي حاليا مجالين متميزين هما مجال **الارتفاعات الشديدة** ومجال **العروض العليا** . وفضلا عن ذلك وإلى الجنوب من نطاق العروض العليا هذا ، هناك شريط عريض تعرض **خلال الفترات الباردة الرباعية** إلى مناخ سمح بهيمنة نظام الحت الحو جمودي حينذاك . وكان القسم الأكبر من أوربا الغربية مندمجا ضمن هذا الشريط . وعليه فإن الكثير من الأشكال فيها قد أخذت تقاطيعها بفضل العوامل التي سندرسها بعد قليل .

ثانيا ـ العوامل السائدة في نظام الحت الحوجمودي

إن العامل الأساسي هو آلية العمل المتعاقب للانجماد والانفكاك . ويتم العمل **بشدة أكبر بكثير في بيئة رطبة منها في بيئة جافة . ففي حالة الجفاف** ، يكاد هذا العمل يقتصر على حالة فريدة هي التقلصات والتمددات الناجمة عن اختلافات الحرارة . وهناك تطبيق عملي لهذا التأثير الأدنى للانجماد في بيئة جافة : ففي الأقطار الباردة يعتمد لتحاشي تشوه الطرق إلى تصريف الماء عنها بواسطة حفر جانبية عميقة أو ترفع الطرق للأعلى بحوالي متر واحد لجعلها في منأى عن تأثيرات الغشاء المائي البئري .

أما في **بيئة رطبة** ، فإن الماء يتثبت في الصخور أو في التربة ، ويظل سائلا فوق درجة الصفر ، ويتجمد دون ذلك . وعند تجمده يزداد حجمه مما يؤدي لتشظي الصخور ولتورم الترب . وفي فترة الانفكاك تنفصل أجزاء الصخر عن بعضها بعد أن كانت الفرجات الواقعة بين الأجزاء المذكورة متلاحمة بالجليد . أما بالنسبة للترب فإن الانفكاك يشبعها بالماء لأن الجليد يتوزع فيها بانسجام أكبر من توزعه في التشكلات الصخرية . أي تكون التربة في حالة الانفكاك مائعة نسبيا . وقد تجري فوق المنحدرات ، وعلى كل فإن حجمها ينكمش لأن ماء الذوبان يحتل مكانا أقل من الجليد ، وبذلك تتخرب بنية التربة . وبعد الانفكاك تتجفف التربة شيئا فشيئا ويتضاءل حجمها أكثر بسبب هذا التجفف : وقد تتشقق .

هذا ويكون عمل **الانجماد والانفكاك المزدوج** اذن ، وكما سنرى ، مختلفا جدا على الصخور وعلى الترب : فهو يؤدي بالنسبة للصخور إلى تفتيت الجلاميد إلى حصى أو إلى حصباء مع بعض تقشرات الجزيئات الدقيقة . وتكون الأنقاض الناجمة عن تشظي الصخر كبيرة أو صغيرة حسب بنيته .

فعندما تكون كبيرة كما هو الحال بالنسبة لمسكوبات البازلت القديمة ، نقول بأننا تجاه صخر واضح التجمند macrogélive ، أما إذا كانت صغيرة ، كما هو الحال بالنسبة للحوار ، الذي يصل به الأمر إلى تشكيل طين حقيقي يضم حصباء ، فنقول بأن الصخر مجهري التجمند microgélive . أما فوق التربة فإن أثر الانجماد والتفكك هو أنه ينفخ التربة أكثر مما يكسرها .

ويختلف أثر الانجماد والتفكك على الترب حسب مقاييس حباتها وبنيتها . فأكثر الترب قدرة على الانتفاخ بالانجماد ، أي على التشوه ، هي تلك التي يكون لحباتها مقياس الليمون limon أو الغرين (من ٢ ميكرون إلى ٢٠ ميكرون) لأن الفراغات الواقعة بين الحبات تكون على قدر من الكبر بحيث تستوعب معه كمية كبيرة من الماء ، ولكنها على درجة من الصغر بحيث لا تكون هذه الفراغات فيها كبيرة . وعلى العكس فإن الترب الغضارية تكون أقل تأثرا بالانجماد كما تتأثر الترب الرملية أو الحصبة graveleux أقل من ذلك به . وهكذا ندرك فائدة كل هذه الاختلافات بالنسبة لتركيب كسية الطرق المعبدة إذ يجب تحاشي الكسية الليمونية « الغرينية » مهما كلف الأمر .

ويتساءل البعض فيما إذا كان الانجماد أكثر نجاعة إذا كان قصيراً ولكن حاداً ، أو فيما إذا كان معتدلاً ، ولكن طويل الأمد ، ومتقطعا كثيرا بفترات انفكاك . وبعبارات أخرى هل أكثر الآليات نشاطا هي فترات الانجماد الشديد ، أو الانجماد الطويل المدى ، أو تكرار الانجماد والانفكاك المزدوج ؟ والجواب على هذه التساؤلات لا يكون بسيطا . وكل شيء يتعلق بالصخر المعين أو بالتربة المقصودة .

فصخر كبير التجمند كبازلت الهضاب يكون قابلا للتهديم بشكل خاص بفعل انجماد طويل المدى لأن الفصمات تكون فيه واضحة ولكنها متباعدة .

فالانجماد يعمل فيها بواسطة فرز الجليد ، أي ان الماء يتكاثف على شكل جليد فوق الجليد المتشكل سابقا . وهكذا تتشكل في الفصمات « أزاميل » جليدية سميكة تمتد نحو الأسفل وتتصرف كالأزاميل المستخدمة في شق الخشب وهكذا يصل الأمر إلى تجزئة الصخر إلى جلاميد كبيرة .

وعلى العكس إذا كان الصخر مجهري التجمند كالحوار مثلا فيكون شديد الحساسية بكثرة ترداد الانجماد والانفكاك المزدوج ، مهما كانت فتراته قصيرة ، إذ يكفي وجود قليل من الجليد في الصخر كي يحوله إلى طين .

أما بالنسبة لشدة الانجماد فإنها تستطيع أن تشقق بفعل التقلص أقل الصخور تجمندا وأكثرها جفافا . ولكن في بيئة رطبة ، فإن انجمادا شديدا لا يكون فعالا بشكل كبير لأن الحرارة إذا ما هبطت إلى ما دون ـ ٢٣ درجة مئوية فإن ضغط الجليد يتراخى بفعل تقلص ناتج عن البرد .

وإذا كان حصول برد قارس جدا لا يفعل بصورة قوية في الترب عن طريق الانتفاخ ، فإنه ، على العكس ، يستطيع أن يصنع فى هذه الترب شقوقا عمودية ناتجة عن التقلص السريع ، ومجيء فترة انجماد أكثر اعتدالا ورطبة تستطيع بالتالي أن تستغل هذه الشقوق عن طريق إيلاج أزاميل جليدية فيها . وبذلك تتشكل شبكة منتظمة من شقوق ، دعيت خطأ ، بشبكة مضلعات التوندرا .

والعوامل التي تلعب دورا تابعا وثانويا في المنظومات الحتية الحو جمودية هي آليات ذوبان الثلوج ، والسيلان ، والريح .

فذوبان الثلوج يبلل التربة ويسهل ظاهرة جريانها solifluxion ولكننا نعرف بأن آلية الانفكاك تكفي لتليين التربة ولجعلها تفقد بنيتها ،

وهكذا نرى أنه حدثت مبالغة مفرطة في أهمية دور ذوبان الثلوج في ترطيب التربة الحو جمودية في الربيع .

هذا ولا يكون **السيلان** قليل الأهمية ، إذ ينشط بعد المطر الوابل أو في أعقاب ذوبان الثلوج ، **وذلك بسهولة أكبر مادام باطن الأرض متجمدا** ، وبالتالي يكون التسرب الباطني شبه معدوم .

أما الريح فلا تأثير له على الأراضي المغطاة بالثلج ولكن ما إن تتخلص هذه الأرض من ثلوجها حتى يثير الريح الجزيئات الرملية ويغربل الطبقات السطحية بحيث لا يترك فيها سوى الحصى ، ويوضّع كثبانا حقيقية على مسافة ما . كما يستطيع الريح وهو مسلح بالرمل أن يتصدى أيضا للجلاميد وللصخر كي يكيّفها على شكل نخاريب . وهكذا نجد العديد من الجلاميد المتأثرة بالحت الريحي على ساندور sandurs أيسلندا .

ثالثا ـ التقاطيع المورفولوجية Le modelé

تبدو التقاطيع مختلفة جدا حسبما تكون هذه فوق مساحات منبسطة أو على منحدرات ، أو فوق صخرات أو على تشكلات ناعمة ، أو في مساحات عارية أو في مناطق مستورة بالعشب . ولكن علينا أن نميز بشكل خاص بين المساحات المنبسطة وبين المنحدرات ، ولكن في داخل هذين المجالين ، يكون من الواضح أن الغطاء النباتي والليتولوجيا يلعبان دورا عظيما .

١ ـ تقاطيع المساحات المنبسطة : تعطي الانكشافات الصخرية ، فوق المساحات المنبسطة ، وبفعل التجزؤ إلى جلاميد ، تعطي صحارى التجمند ، الغنية بالحجارة ، المؤلفة من حصويات أو من جلاميد حسبما تكون بنية الصخر متوسطة التجمند أو كبيرة التجمند . ويتعرض كل

كسر للتوسع بفعل تجمند الشفتين : وبذلك يتشكل عقيق vallon التجمند ، العريض والذي يصل عمقه لبضعة أمتار .

أما قيعان الأودية فتحوي بحيرات عديدة ، ولكن إذا كان المناخ غير شديد البرودة ، فإن القيعان المذكورة ستحوي مخثات الطورب tourbiéres التي تبدو أحيانا على شكل عصيبات غريبة الشكل ومتباعدة وذات منظر متعرج ، وتدعى المخثّات الحبلية cordées .

هذا وتكون الترب أو التشكلات الناعمة متكيفة على أشكال مختلفة ، وهذه أهمها :

ـ عندما لا يكون هناك نبات ، تظهر الترب المضلعة .

ـ عندما يكون هناك غطاء عشبي ، تظهر الأكمات المعشوشبة أو الثوفور thufurs

آ) **الترب المضلعة ـ** تؤلف الترب المضلعة أحد أكثر المشاهد النموذجية في الأقطار القطبية الشمالية ونجد منها أيضا في جبال النطاق المعتدل ونطاق ما بين المدارين . وتظهر هذه على شكل تعاقب من مضلعات ، خماسية الأضلاع متفاوتة في انتظامها . وتختلف أبعاد هذه المضلعات من بضعة سنتمترات إلى عدة أمتار ، وقد تصل إلى ٢٠ مترا بالنسبة للأشكال الضخمة . وتارة يكون مركز المضلع غرينيا والأضلاع مؤلفة من حجارة ، وهو نموذج **الدوائر الحجرية** ، وتارة أخرى ، على العكس ، تكون مادة الأضلاع من عناصر ناعمة ووسط المضلع عبارة عن جلمود ضخم تلتصق به حصيات أقل حجما ، وهو نموذج **الوردات الحجرية .** هذا وهناك أيضا مضلعات من مواد متجانسة ، دون نخب أو إصطفاء ، وناعمة نوعا ما ، وهي **المضلعات**

الترابيـة . وعنـدمـا تكون المضلعـات كبيرة الحجم جـدا كما في سهـول سيبريـا الشماليـة وفي آلاسكا ، تـدعى مضلعـات التـونـدرا ، وهي عبـارة يجـدر بنـا أن نتحاشاها ، إذ يمكن العثور عليها تماما في مناطق ذات تربة عاريـة في حين أن كلمة توندرا تعني تشكلا نباتيا .

ولا يزال الاتفـاق بعيـدا بصـدد منشـأ المضلعـات . وقـد أشير في تفسيرهـا بشكل خاص إلى تيارات الحملان . وبما أن كثافة الماء القصوى تقع بجوار درجـة ٤ مئوية ، فإن للماء قرب السطح عند الانفكاك[٣٩] أحيـانـا كثـافـة أكبر ، ولا سيما إذا كانت حرارته بجوار ٤ مئوية ، أي أكبر من كثافـة مـاء الـذوبـان عنـد تماس الطبقة العميقة المتجمدة والطبقة السطحية التي ذاب جليدها .

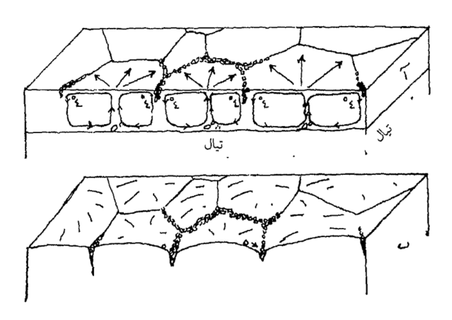
ويجنح هـذا المـاء السطحي الأكثر ثقلا إلى الغوص كي يحل محلـه مـاء أقل ثقلا حرارتـه صفر ، وينتج عن ذلـك حركات تتم في خلايـا عـديـدة الأضلاع (شكل ١٢٥ آ) .

ولكن أظهر الحساب أن قوة حركات الحملان بين سـائلين حرارتهما صفر و٤ درجات تكون زهيدة وتعجز تماما عن إنهاض الحجـارة ، حتى ولو كانت صغيرة الأبعاد .

أمـا بـالنسبـة للمضلعـات الجبـارة ، فمن المعروف أن ظـاهرة التقلص هي المسئولة عن شبكة التشققات التي تعمل بعدئذ كأمكنة لفرز الجليد الذي يشكل فيها أسافين . أما الترب الهندسية الحجرية فيبدو أنهـا تعود لتقببـات متجـاورة تشكلت بفعـل الانجماد الـذي أعقبـه خفس عنـد الانفكاك (شكل ١٢٥ ب) . وتبـدأ بتبرعم التربـة ، ومن ثم تـأخـذ الحجـارة بـالانتقـال ، خـلال عمليـات الانجماد والانفكاك المتعاقبة ، فوق منحدرات التقببات الصغيرة .

---

(٣٩) تعني بكلمة الانفكاك عكس الانجماد ، أي ذوبان الجليد .



(شكل ١٢٥) ـ نظريتا تشكل الترب المضلعة .

أ ـ تيارات الحملان ، ويشار أليها بالأسهم ، وهي نظرية لم تعد مقبولة .

ب ـ تقبب بفعل الانجماد ، هجرة الحجارة فوق منحدرات التقببات . ويكون الحجم المتوسط للخلايا المضلعة هنا مترا واحدا . تيال . تيال

هذا ومن العسير طبعا تفسير السبب الذي يؤدي بهذه الطرائق إلى تشكيل شبكات بمثل هذا الانتظام ، ولكننا هنا نتصدى لمشكلة عامة شأن تشكل البازلت أو الأرغن البازلتي ونجد أنفسنا مضطرين للتسليم بأن مؤثرات فيزيائية مستمرة تؤدي لتكوين أشكال غير مستمرة ، مثل المواشير أو المضلعات المنفصلة عن بعضها بشقوق .

ب ـ **الأكمات المعشوشبة ، أو الثوفور** . وهي أكمات تقارب أبعادها كومات تراب سرداب الخلد . ولا نعثر على هذه الأشكال بالتأكيد في أكثر المناطق بردا ، العديمة النبات ، بل يمتد مجالها ، على العكس ، لبعيد باتجاه الجنوب . ففي الكتلة المركزية الفرنسية تتشكل هذه الأكمات على ارتفاع يفوق ١٠٠٠ م ، في حين أن الترب المضلعة تكون بحالة جنينية على ارتفاع ١٧٥٠ م . وفي أيسلندا تميز هذه الأكمات المناطق المنخفضة باستثناء الهضبة الوسطى

العارية . هذا وقد تتجاور هذه الأكمات بانتظام شديد ، فتشكل ميادين أكمات حقيقية .

ويبدو أن أسلوب تشكلها مماثل لأسلوب تشكل الترب المضلعة ولكن في بيئة مختلفة . ويبدأ تكوينها بتبرعم ناجم عن الانجماد الذي يأخذ برفع بعض الكَدَرات[٤٠] الترابية ، ولكن لا يحصل هنا انتقال كتلي للحجارة لأن النبات يمسك بجزيئات التربة .

٢ ـ **تكييف السفوح :** تتعرض **الانكشافات الصخرية** على السفوح إلى التفتت بفعل التشظي وتقدم أكداس **الحجارة** في حين تنتج **التشكلات الدقيقة** أكداسا من **الوحل الذي يهبط بفعل جريان التربة** وتكون الحجارة مندمجة فيه أحيانا . وأخيرا تعمد المهيلات الثلجية على تخطيط المنحدرات الشديدة على شكل مجار أو ممرات couloirs ينزل منها الثلج في الشتاء ، وماء الذوبان بعد انفكاك الجليد .

وتكون نتيجة التجمند على الجروف الصخرية هو تشكل **أعراف ألبية وجروف** أو جدران صخرية تقطعها **السقائف الصخرية** abris sous-roche هذا وتكون الأعراف الألبية مكيفة على شكل أسنان المنشار أي تتألف من سروات وتيجان أعمدة ، أما الصخرات فتكون مقطعة بأعراف مجهرية وبأوجه صغيرة توفر لمتسلقي الجبال « الماسك » التي تسمح لهم بالصعود . هذا كما نعثر على أودية صغيرة جدا ، أي على شكل عقيقات vallons ، ناجمة عن التجمند ، تسنّن الجدران الصخرية . أما السقائف الصخرية فتتشكل عند تماس طبقة شديدة التجمند مع طبقة قليلة التأثر

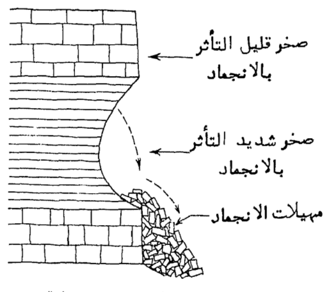
---

(٤٠) الكَدَرة الترابية هي كتل التراب التي نعثر عليها بعد حراثة الأرض والتي تبلغ حجم جوزة النارجيل (جوز الهند) .

بالتجمند ترقد فوقها ، فبينما تتعرض الطبقة الشديدة التجمند للتحفير السريع تظل الطبقة القليلة التجمند مشرفة فوق التقعر (شكل ١٢٦) .

وتكون **المهيلات** كثيرة بشكل يلفت النظر ، فهي تشكل أكواما من نماذج مختلفة وذلك فيما إذا كانت مرتصفة « على الناشف » حسب قوانين الثقالة أو فيما إذا كانت قد انتقلت ضمن مادة طرية . وتؤلف **مهيلات الثقالة** البسيطة حدورا في حالة ميل اتزاني . أما فوق الصخور التي تتفتت إلى حصباء فتتشكل **المهيلات المرتبة** ordonnés . وبالفعل يدلنا مقطعها على تعاقب سافات دقيقة وسافات خشنة ذات سماكة تتراوح بين ١٠ إلى ٢٠ سنتمترا . ولا يزال منشؤها غير معلوم تماما ، ويكون ميل سطوح المهيلات المرتبة أقل من ميل حدود اتزان الثقالة .

هذا وتحصل **مسكوبات الجلاميد** فوق الميول القليلة ، ما بين ٥ إلى ٦ درجات ، وتنساب بفعل حوادث الانجماد والانفكاك فوق فراش من الوحل الذي يجري ، أو فوق وُسَيْدات الجليد المندمج في الفرجات الفاصلة بين الجلاميد .



(شكل ١٢٦) - تشكل سقيفة صخرية بفعل التجمند .

وترتصف العناصر الدقيقة فوق السفوح أحيانا على شكل **ترب محدّدة** striés ، أي حسب استطالة المضلعات في اتجاه الانحدار ، حتى إن المضلعات ، التي لم تنتظم بعد ، تظهر وكأنها حزوز موازية لخط الميل الأعظم . ولا تختلف من حيث تكوينها عن الترب المضلعة ، غير أن الأشكال الهندسية تشوهت بسبب النزول .

وتخضع السفوح في النظام الحتي الحو جمودي بالطبع إلى القواعد العامة في تطور الفواصل النهرية ولكنها تحوي أيضا على خصائص تنفرد بها . فتراجع الجروف الصخرية بتأثير الانجاد يعطي منبسطات تدعى أحيانا **منبسطات تسوية الأعالي** altiplanation[41] ، وعلى العكس إذا كانت الصخور صغيرة التجمند microgélives ، كالحوار ، فإن انسياب العناصر الدقيقة يعطي **حادورات** glacis كبيرة ضعيفة الميل ، تتراوح بين درجة واحدة وخمس درجات ، ميل يكاد يكون ثابتا تقريبا . ولكن أعلى الفاصل النهري وحده هو الذي يظل محدبا ، تلك هي تقاطيع مقاطعة شمبانيا الحوارية شرقي باريس ، تقاطيع موروثة من العصور الرباعية الباردة .

رابعا ـ الخلاصة

تحوي تطورات وأشكال النظام الحتي الحو جمودي المميزة تنوعا كبيرا غير أن أهم العوامل والأشكال في هذا النظام تعود للتشظّي بفعل الانجاد frost ، ولتورم الغرين limons ولجريان التربة . وتعود أهمية هذه الأشكال إلى أن الأقطار المعتدلة كانت خاضعة لهذه العوامل قبل ١٠٠٠٠ سنة فقط ولا زالت تحوي حتى الآن بقايا موروثة منها .

---

(٤١) تعني هذه العبارة تشكل منبسطات replats على الأجزاء العالية من التضاريس بتأثير التجمند gélifraction وجريان التربة .

الفصل الرابع

نظام الحت في الغابة المحيطية

مقدمة ـ تتميز البيئة المحيطية بغطاء غابي ، مؤلف معظمه من أشجار ذات أوراق نفضية ويهطول الأمطار في كل الفصول ، وبندرة الانجماد ، أو بانعدامه ، وعلى كل حال تتميز بالحماية التي توفرها التربة والغطاء النباتي ، وبقلة نفوذ الانجماد لباطن الأرض وبالتالي بضعف تأثيره .

المناطق القليلة الأمطار والمناطق الشديدة الأمطار

قد يتراءى لنا بأن من الممكن الاستنتاج بأن عمل المياه الجارية هو المتفوق في هذا المجال . والواقع علينا أن نميز هنا نموذجين من المناطق :

١ ـ المناطق التي يكون المجموع المطري فيها ضعيفاً نوعاً ما (نموذج الحوض الباريسي ، من ٥٥٠ إلى ٧٥٠ مم) **والتي لا تتعرض لأمطار عنيفة إلا بصورة استثنائية .**

وهنا ، أي في البيئة الغابية ، **لا تجري** الأنهار الصغرى بصورة مستمرة **إلا فيما ندر** ، فلا تحتوي على الماء إلا بعد زخات شديدة أو بعد الانفكاك الجمدي ، أي عندما تظل التربة متجمدة تحول دون تسرب الماء للأسفل . ولا تمارس هذه الأنهار عملها الحتي إلا في القليل من الأيام ، ولا يشعر بها بصورة عنيفة إلا في أعقاب الفيضانات الكبيرة التي تحصل عادة مرة في خلال بضع عشرات السنين . وفي مثل هذه الحالة تستطيع هذه النهيرات أن تخدد الأرض ، وحتى أن تقتلع بعض الأشجار . وعلى العكسَ فإن للأنهار الكبيرة

فيضانات ناجعة في كل عام ، فتحفر وتنقل وتوضّع باستمرار نسبي ، بيد أن من النادر أن يكون تأثيرها على الضفاف كارثياً .

أما على السفوح فالسيلان يكون محدوداً لأن الماء ينساب متسللاً بين لباد من الأوراق الميتة الذي يتصرف وكأنه اسفنجة .

وفي هذه الشروط يكون الزحف هو العامل الرئيسي في التكييف السطحي Aréolaire (عكس الخطّي) ، ولكنه يكون بطيئاً ما دامت تبدلات حجم التربة الناجمة عن الانجماد قليلة الأهمية ولأن الجذور تمسك بالتشكلات الرخوة الهشة . هذا ويكون التفسخ الكيماوي بطيئاً جداً بسبب اعتدال الحرارة وفي ذلك يكمن الاختلاف الأساسي مع البيئة الغابية الاستوائية (انظر الفصل ٦ القادم) .

وإجمالاً يكون نظام الحت هذا من النموذج « الباريسي » **وهو أحد أقل أنظمة الحت عدوانية** . فهو يعمل ضمن شروط استثنائية مثل حالة الفيضانات الكبرى أو المسكوبات الوحلية ، ويتصف ببطء التحام الجروح الحتية الحادثة .

ولكن يحل مكان النظام الحتي المتكاسل في الغابات المحيطية القليلة الأمطار ، وذلك حيثما قضى على الغابة بفعل كسر الأرض للزراعة ، يحل نظام حتي بشري ، أكثر عنفاً وضراوة بكثير .

٢ ـ المناطق ذات المجموع المطري المرتفع (نموذج السواحل اليابانية ، من ١١٠٠ مم إلى ٢٥٠٠ مم) **والتي تتعرض سنوياً لأمطار عنيفة** (وخاصة للتيفونات) .

وهنا تكون الأرض غالباً مشبعة ، بحيث يكثر الجريان المائي فوق

السفوح كما أن **انـزلاقـات الصخـور** تحـدث في أعقـاب الأمطـار الشـديـدة ، وذلك رغم كثافة الغطـاء النبـاتي . وممـا يشجع على انزلاقـات الأرض **التفسخ الكيمـاوي** ، العميـق جـداً بسبب الرطـوبـة وشـدة الحرارة الصيفيـة التي يبلـغ معـدلهـا ٢٦ درجـة في طوكيـو . وينتـج عن هـذه الانـزلاقـات التي تصـاحب السيلان طبغرافية تكثر فيهـا المسيلات الصغيرة vallons ذات الخواصر المنتصبـة والقاع المنبسط التي يبلغ عرضهـا وسطيـاً ١٥ متراً ، أي لا نجـد هنـاك سفوحـاً ملساء بل سفوحاً محززة .

أما الأنهار الكبرى فلها نظام تشنجي Spasmodique ، فتنتقل بسرعـة من الشح إلى الزود . وبمـا أن لميـاه **الفيضـان** حمولـة صلبـة مرتفعـة فـإن أكثريـة الأنهـار ترفـع من سـويـة سريرهـا ، وتهيمن على سهـولهـا اللحقيـة التي شكلتهـا وتخلق خطراً مستديماً على سكانها .

وتكـون انـزلاقـات الصخـور فـوق السفـوح ، والفيضـانـات الهـدامـة في السهول ، الظاهرتين العنيفتين اللتين لا يحول دونها وجود الغطاء النبـاتي ، ممـا يتباين مع دِعة العوامل الحتية في المناطق من الطراز المناخي « الباريسي » .



الفصل الخامس

نظام الحت في الأقطار القاحلة وشبه القاحلة

مقدمة : إن كلمة قاحل لا تعني مطلقاً الجاف فمناخ قاحل هو مناخ يتضافر فيه عمل الجفاف مع عمل الحر . فالحر يجفف عن طريق التبخر بحيث نلاحظ بالنسبة لنفس كمية المطر الهاطل خلال العام ، أن قطراً في عروض منخفضة يكون قاحلاً ، في حين أن منطقة في درجة عرض عالية ، كالجزر القطبية الكندية لا تعتبر قاحلة ، علماً بأنها تنال نفس المقدار من الماء .

☆ ☆ ☆

من الممكن القول بأن المناطق القاحلة حقاً ، أي الصحاري ، هي المناطق التي تتلقى أقل من ١٥٠ مم أو من ٢٠٠ مم من الماء في العام على عرض شمال الصحراء الكبرى وأقل من ٢٥٠ مم على عرض جنوب الصحراء الكبرى . ولكن هناك مناطق شبه قاحلة ، مثال ذلك سهوب الحافة الشمالية للصحراء الكبرى أو حتى القسم الأعظم من المناطق الرومية ، أي الخاضعة لمناخ البحر الأبيض المتوسط والتي تنال أمطاراً تقل عن ٥٠٠ مم في العام .

أولاً ـ المدخل

تتصف كل هذه المناطق **بانعدام شبه كامل للغطاء النباتي** ، كما في النطاق القاحل ، أو بوجود غطاء مبعثر ، كما في سهوب الحافة الصحراوية ، وغابات السنديان المتخلخلة ، كما تكون التربة غير محمية تماماً بالنبات .

هذا ويكون القسم الأعظم من النطاق القاحل عديم الصرف ، أي

لا يكون فيه جريان دائم ، أما سهوب الحافة الصحراوية فتكون عديمة الصرف أو ذات صرف داخلي ، في حين يكـون النطـــاق الرومي ذا صرف داخلي أو خارجي . ومهما يكن الأمر فإن لأنهار هذا النطاق نظـامـاً تشنجيـاً بـاستثنـاء المناطق الكلسية النادرة حيث تكون احتياطات الطبقات المائية عظيمـة . ذاك هو وضع **الأودية** في الصحراء ، وسرر الأنهـار التي تظل جـافـة في أغلب أيـام السنـة ، كما في **الفيومـارا** fiumaras الايطـاليـة . ولهـذا توصف مجـاري أنهـار البحر المتوسط بأنها « منشر الغسيل المفضل لدى ربات البيوت » .

ولكل هـذه النطـاقـات درجـات حرارة متبـاينــة ولا سيا في الصحـــاري الحـارة ، إذ تصل حرارة الرمـال تحت الشمس إلى ٧٠ درجـة مئـويـة . بيـد أن فروق الحرارة في الظل لا تتجاوز ٢٥ درجة في اليوم إلا فيما ندر .

ثانياً ـ الترب : الطلاءات ، القشرات ، النطاقات الملحية .

تكون الترب المتـوائمـة مـع هـذه الأنظمـة المنـاخيـة ، على العمـوم رقيقـة هيكلية ، أو منعدمة . ففي الصحاري لا نعثر أبداً على هذا المجموع من الحبـات التي أصبحت متـآخـذة بفعل الرطوبـة ، كما تظهر الأراضي في الأقطـار الرطبـة المعتدلة ، وعلى الأكثر نجد ترباً متشكلة في عصر أكثر رطوبـة من الحـالي والتي يقتلع الريح منها العناصر الناعمة أو تكون مستحاثـة ضمن جيوب في تجـاويف الصخر كالتربـة الحمراء في خنـادق الطرق المحفـورة في جروف جبـل طـويـق . وفضلاً عن ذلك تستطيع التأثيرات الكيماوية ، وخاصة فوق الصخور العارية ، تستطيع تكوين الـدهـان vernis وهو طلاء سطحي أسود لامع غني بـالمنغنيز ، يبلغ سمكه بضعـة ميليمترات ومن أصل غير متفق عليـه ، والـذي نعثر عليـه في البادية السورية وشرقي القلمون فوق سطح مختلف الصخور .

أما في الأقطار شبه القاحلة ، حيث تتراوح مقادير الأمطـار بين ١٥٠ إلى

٥٠٠ مم في العام ، فتتشكل على السطح ، أو على عمق قليل ، قشرات كلسية ، ويعود وجود هذه القشرات إلى أن الأمطار تكون على درجة من القلة بحيث تعجز عن تذويب بعض المواد كالاملاح والكلسيوم ، وهكذا تتثبت الأملاح وفحمات الكلسيوم ، فور توقف المطر ، وبفعل الخاصة الشعرية ، تتثبت على سطح الأرض أو في داخل التربة السطحية . وتتصرف هذه القشرة كطبقات قاسية ، تؤلف شرفات كتلك التي تشكل سقف مغاور بيت لحم والتي تحولت إلى مذاود على أيدي الرعاة ، وتلك القشرات التي تنتشر على نطاق واسع جنوبي حسية قبيل حمص وفي سهل الصحراء غربي دمشق ، وتستعمل بعد تكسيرها كحجارة بناء في القلمون ، حيث تدعى حجر الخرش مثلما نجدها فوق صخور الحوار الكريتاسية والأيوسينية في هضبة حلب وحماه وتسمى « تفزة » في تونس .

أما في قيعان المنخفضات في الأقطار المفرطة الجفاف وحيث لا تذوب أملاح الكلس ، فإن **الأملاح** ، أي كلورور الصوديوم والبوتاس ، هي التي تنساق بفعل مياه التسرب الحالية وتصعد إلى السطح ، مؤلفة تزهيرات أو أغشية ملحية كما في سبخات بلاد الشام : مثل سبخة الجبول في جنوب شرق حلب والبوارة شرقي نهر الخابور الأدنى وسبخة الأزرق في شمال شرق الأردن ، هذا مثلما تحولت آلاف الهكتارات من الأراضي الخصبة المتازة في بلاد مابين النهرين والخابور إلى أراضٍ عقيمة في أيامنا بفعل الجهل بأساليب الري الحديثة .

ثالثاً ـ عوامل الحت .

في هذه الأقطار التي لا تتمتع بحماية النبات وحيث لا يستطيع جريان

التربة أن يلعب مطلقاً أي دور يذكر ، فإن عوامل الحت الرئيسية تكون ذات أصالة .

١ ـ **طرائق السيلان** : إذا كان السيلان معدوماً في الصحراء المطلقة كالصحراء الليبية ، فهو على العكس نشيط رغم ندرة الأيام التي يجري فيها الماء في المناطق شبه القاحلة . وتزداد عدوانية السيلان ما دام الغطاء النباتي غير متصل ولأن التربة غير متآخذة كما في المناطق المعتدلة الرطبة .

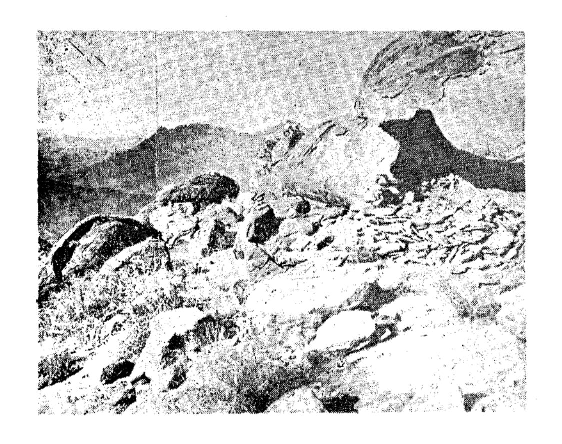
ففي هذه المناطق شبه القاحلة تكون السفوح العارية أو المعرّاة بفعل الاحتطاب والرعي الجائر شديدة التعرض لهجوم الأمطار الفجائية . ففي الغضاريات العارية من الأحراج تتشكل تخديدات على شكل أراضٍ رديئة bad-lands . أما فوق المنحدرات الصخرية فإن التربة قد تنجرف تماماً بفعل التخديد ، فيظهر الصخر عليها عارياً دوماً فتتكشف الأشكال البنيوية بكل تفاصيلها وتظهر البنية على الجبل المسلوخ من تربته ومن غطائه النباتي واضحة كسلاسل الجبال التدمرية مثلاً .

وتجاه تلك الهجمات الحتية الكثيفة تكون المجاري المائية عبارة عن أسرّة فضفاضة ، مركومة بحصويات ضخمة كما لا تجتاحها المياه إلا في فترة الفيضانات مثل أودية بلاد نجد كوادي حنيفة وروافده بجوار الرياض .

هذا ولا ينعدم المطر في المناطق القاحلة حقاً . فالزخات تؤدي لسيلان منبث لا يكون دوماً على قوة كافية لتشكيل أرض رديئة ، بل يتمكن من انتزاع الكثير من الأنقاض الدقيقة من سطح التربة . كما تستطيع الأودية أن تدخل في مرحلة الفيضان ولكن نادراً ، كوادي موسى قرب البتراء في الأردن ، أو وادي الثنايا في القلمون كما حدث عام ١٩٣٧ . وعلى العموم يكون الوادي عند فيضانه شديد الحمولة بحيث يعجز عن الحفر ولا يكون متعمقاً إلا

في الجبـال الصحراويـة . ولكن الـوادي يحبـو متراخيـاً في المنــاطـق الضعيفــة التضاريس ضمن سرير ضحل ، كوادي الرمة في نجد .

وقد تعرضت الصحاري في الماضي لمناخـات أكثر رطوبـة من منـاخ الزمن الحالي . فمناطق تبدو اليوم قاحلة ، كبادية الشـام ، عرفت حينـذاك جريـانـاً أكثر حدة ، كجريـان المنـاطق شبـه القـاحلـة . وقـد تتجلى هـذه التعـاقبـات المناخية على شكل تعاقبات في المصاطب ، كما يظهر ذلك على وادي السـاوره في شمال غرب الصحراء الكبرى ، في القطر الجزائري .



صورة رقم ١٤ ـ التقشر البصلي أو التقفّع exfoliation . منظر لغار حراء الذي يطل على مكة المكرمة من جنوبها الشرقي حيث يقع في أعلى جبل ثور الذي يبعد عنها مسافة ٦ كيلو مترات ويرتفع إلى ٨٠٠ م . في أقصى يســار الصورة يظهر جبل النور والسلاسل الجبلية المحيطة بمكة .

٢ ـ ضعف التفسخ الكيماوي ـ احتداد التفكك الميكانيكي :

يكون التفكك الميكانيكي على غاية من القوة في الصحاري لانعدام الغطاء النباتي والغطاء الترابي ، اللذين يلطّفان مفعول تبدلات الحرارة ، لا سيا وأن التبدلات المذكورة تكون عظيمة لشفوف الهواء . فحركات التمدد والتقلص تؤدي لحدوث توترات قد تقود إلى تشظّي الصخر ، ولا سيا في الصخور السوداء أو في الصخور المتصفة بتورقها schistosité (صورة رقم ١٤) . بيد أن هذا العمل يكون بطيئاً وبالتالي محدوداً . كا يمكن أن يكون تأثير الأملاح شديداً فيا إذا كانت بلورات الملح مترصّعة في مسامات الصخر ، ولكن التأثير المذكور لا يظهر إلا في بعض الأمكنة . وعلى العموم يمكن اعتبار المنحدرات الصخرية الشديدة ، التي تظل جافة ، وكأنها متمتعة بمناعة شبه كاملة تجاه هذه المؤثرات ولذا يعتبر مناخ الصحراء أحد أفضل أمكنة الحفاظ على سلامة التضاريس .

وإذا كان مناخ الصحراء المطلقة قليل العدوانية الحتّية ، فإن الأمر يكون كذلك في المناخ شبه القاحل ، ونحن نعرف أن السيلان يسود فيه كا أن الأشكال تكون فيه سريعة العطب جداً عندما لا تكون السفوح محمية بالقشرات الكلسية croûtes التي سبق لنا الكلام عنها .

٣ ـ **دور الريح :** يظل الريح العامل الحتي الأساسي في الصحاري المطلقة ما دام الزحف وجريان التربة مجهولين فيها ، وما دام حت المياه الجارية غير نشيط حقاً إلا على الهوامش شبه القاحلة .

ولكن الحقيقة هي أن الصحراء لا تكون مجال الريح الوحيد . فهو يعمل عمله في كل منطقة مكشوفة يهب فوقها بعنف ، كالبلاجات ، والسرر النهرية ، وهوامش الجموديات ، ولكن الريح ، على كل حال ، يمارس عمله بحرية أكبر في الصحاري .

ويحتّ الريح عن طريق التذرية déflation وعن طريق **التخريش** corrasion

آ) **الحت الريحي : التذرية** هي تكنيس الأنقاض الهشة والناعمة بواسطة الريح ، كالترب التي تشكلت خلال الفترات الرطبة قبل الصحراوية ، أو الأنقاض الناتجة عن التفسخ الحالي للصخر .

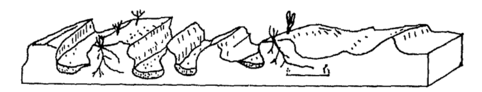
وينتج عن التذرية غربلة الأنقاض الصخرية ، فلا يبقى في محله سوى أكثر الأنقاض خشونة . ويؤدي هذا التنسيف إلى رصف حصوي حقيقي يحمي العناصر الناعمة التي يغطيها . هذا المشهد هو **الرق** reg وإذا كان الصخر قليل التآخذ فقد يتعرض حتى للحفر .

أما التخريش فهو الهجوم الذي يتعرض له الصخر من قبل الريح المسلح بالمواد التي ينقلها ولا سيا بحبات الكوارتز أي المرو ، حتى ولو كان الصخر المذكور قاسياً . ولهذا يكون عمله مماثلاً لتأثير قذفات الرمل المستخدمة في الصناعة كوسيلة صاقلة . ويكون هذا التأثير محسوساً خاصة بجوار سطح الأرض ، لأن حمولة الريح تتناقص فوق ارتفاع معين ، أي بين ١ م و ٢ م . غير أن العلماء لم يقتنعوا بأن هذا التأثير الكاسح rasante هو المسؤول كلياً عن أشكال الفطور (عش الغراب) الملحوظة في الصحاري . غير أن تضافر دور تشظي الصخور ، الذي يكون أشد قوة قرب السطح ، وحيث تكون تبدلات الحرارة أكثر حدة ، مع دور أسلوب تشكل تجاويف التافوني التي تكثر في منطقة الطائف ، (فصل ٤ فقرة ٤) يؤدي بالتحالف مع الريح لتكييف الشرفات أو السقائف surplombs .

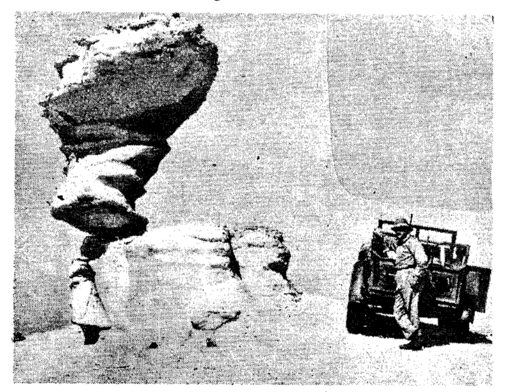
أما التخريش فيقوم بالأدوار التالية :

١ - **ينخر ويقضم الغضاريات** فيقطعها إلى أثلام وأعراف غير مستقرة تدعى **ياردانغ** في التركستان . وتعمل جذور الشجيرات على تثبيت الغضار ، حتى أن أعراف الياردانغ ترتبط احياناً بمواقع الدغيلات (شكل ١٢٧) .

٢ - **يكشف مستويات التطبق الصخرية** بفعل الحت التفاضلي الذي يمارسه على السفوح الشديدة كما في خانق بردى قبل الربوة ، كما يكشف تمثال أبو الهول عن ارتصاف الطبقات التي نحت فيها ، ولذا تكثر الأشكال الفطرية ، وذلك نسبة للفطريات champignons أو mushrooms ، في صحراء مصر الغربية (صورة رقم ١٥) .



(شكل ١٢٧) - الياردانغ



صورة رقم ١٥ - نموذج عن الأشكال الفطرية الناجمة عن الحت الريحي في صحراء مصر الغربية

٣ ـ **يكيّف الحصى على شكل وجيهـــات مقعرة قليـــلاً** ، تكـــون إحداها متعامدة مع الريح السائد في حين تكون الأخرى مـائلـة عليـه . ونحن وإن كنـا لا نرى من الضروري بـأن تتـأرجح الحصى فوق تربـة منقولـة بفعل التـذريـة فـإن من الممكن أن تنتج عن عمل الريح أشكال هرميـة ذات ثـلاثـة أعراف ، يسميها المؤلفون الألمان **دريكانتر Dreikanter** .

وقـد تنـاقش الجيومورفولوجيـون لمعرفـة مـا إذا كان الريـح يستطيـع أن يصنـع مـع تقـادم الـزمن أشبـــاه سهـول الحت الريحي . ويغلب على الظن أن الجـواب سلبي ، ولكن الريـح يكـون على الأقـل قـــادراً على حفر ثلمـــات غير متصلة ، عميقة كالأودية ، ومن ناحية أخرى على تقعير وتفريغ حوضات مليئة بتوضعات رخوة بفعل التذريـة ، وإلى هـذه الظـاهرة ينسب العلمـاء منخفض القطـارة في صحراء مصر الغربيـة (– ١٣٤ م) وشـــط الغرســـة في تـونس (– ٢١ م) بفعل الرياح الدوامية في هذه المنخفضات المغلقة .

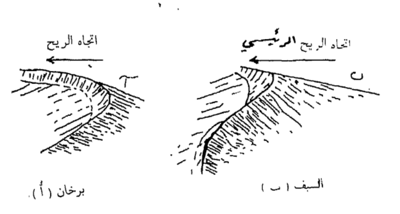
ب) **التكديس الريحي ، والكثبان** : يوضّع الريح جزءاً من الأنقاض التي سبق له أن كنسها أو اقتلعها ، ولكن من المعلوم اليوم أن التراكمات الرملية الريحيـة الكبرى ، كالربع الخـالي ، إنمـا تـوجـد فـوق مـوقـع الأغشيـة اللحقيـة المتوضعـة خلال العصور المطيرة من الـدور الرابع أو تشكلات أكثر قـدمـاً . ولم يوضّع الريح كل الرمال في الصحراء الكبرى ، بل اقتصر فقط على نقلها لمسافـة قصيرة وأعـاد تكييف شكل اللحقيـات الـدقيقـة . ولقـــد ظلت هـــذه التراكمات الرمليـة الكبرىٰ معتبرة وكأنهـا تشكل القسم الأعظم من الصحـاري لأن القوافل كانت تفضل سلوك الممرات الواقعة بين الكثبان ، ولكن هذه الرمـال لا تشكل سوى ٣٠ ٪ من مسـاحة الصحاري الكلية . وفيما عدا ذلـك فـإن تراكمات الرمـال

تنحصر في الزوايا الميتة وفي تجاويف كالثلمات الواقعة بين الياردانغ ، أو تتحول إلى ألسنة رقيقة ، أو على شكل كثبان بدائية .

ومن الواضح أنه لكي يتكدس الرمل يجب أن يكون محمولاً بالبداية ، ولكن الريح لا يستطيع أن يحمل سوى الرمال الناعمة ، ويترك فوق الأرض الحبات الخشنة ، وتسقط الحبات الناعمة التي يحملها عندما تضعف حدة الريح وخاصة في المناطق المحمية حيث تتناقص سرعته . وعلى العموم يجر الريح بجوار الأرض الرمال التي يحملها ، ويرفعها لمسافة لا تتجاوز من حيث العلوّ بضعة سنتيمترات ، وإذا ما سقطت الحبة من جديد ، فهي تقفز وتستمر في مسيرتها . وعند ملامسة الحبات المنقولة للأرض فهي تقوم بقذف الحبات الأكثر خشونة والتي عجز الريح عن تحريكها . ومن المألوف أن يرى الإنسان في الصحراء الكبرى انتقال الحبات الدقيقة ، بسرعة كبيرة جداً ، أي الحبات من حجم ربع الميليمتر تقريباً ، بينما يرى الحبات من مقياس ٢ مم كيف تتقدم ببطء على شكل قفزات ، تحت قذف الحبات الناعمة .

وعلى كل حال فإن النقل بواسطة الريح يكون اصطفائياً . وتكون عناصر التوضع الريحي متجانسة الأبعاد نسبياً .

ويشكل الريح عند تخلّيه عن الحبات التي ينقلها أكداساً رملية متنوعة جداً . ولن نتعرض هنا إلا لنموذجين : الكثبان البدائية وأهمها البرخانات ، والمساحات الواسعة من الكثبان الطولانية المتوازية التي تشكل العروق في الصحراء الكبرى . وتطلق كلمة **برخان** في آسيا الوسطى على الكثبان الهلالية الشكل ، كما نجد منها في الصحراء الكبرى . ويتطاول ذراعا الهلال في الاتجاه الذي يهب الريح نحوه لأنهما يتقدمان بسرعة تفوق تقدم مركز الهلال . أما

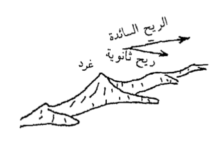


(شكل١٢٨) ـ برخان (أ) والسيف (ب) . لاحظ مقطع القطاعات الثلاثة .

كثبان الأقطار المعتدلة ، فعلى العكس ، فتتثبت بسرعة بفعل النباتات ، فلا تتقدم نهايتاها أكثر من المركز ، غير أن القسم الأعظم ، وهو الأكثر ارتفاعاً ، يكون أكثر تعرضاً للحت فيأتكله الريح وذلك بأن يحفر فيه بحركة دوامية تجويفاً يدعى في غاسكونيا الفرنسية كاودير caoudeyre أي مرجل . وفي هذه الحالة يأخذ ذراعا الكثيب الاتجاه الذي يأتي منه الريح .

والبرخان عبارة عن كثيب ناشىء متشكل تحت نظام رياح سائدة . وله مقطع يحتوي على ثلاثة قطاعات (شكل ١٢٨) : قطاع متجه نحو الريح ، أي من حيث يتم التراكم ويكون ذا ميل ضعيف ، وينتهي هذا القطاع فجأة كطرف الشفرة ، ومن هذا جاءت تسميته **السيف** في الصحراء الكبرى ، أي العرف . (شكل ١٢٨ ب) . أما القطاع الثاني فيكون ذا ميل شديد جداً ويتألف من حدور تساقط الرمال talus ، الواقع في ظل الريح ، ولكن القطاع الثالث يتصف بميل متوسط وينتج عن الرصف الذي تقوم به دوامة العودة ، أو المدحلة ، ضد حدور التساقط ، أي رصف الرمل الذي يسقط مباشرة من أعلى السيف .

هذا ولا تستعمل عبارة السيف فقط للكناية عن عرف كثيب ما بل تطلق للدلالة عن كثيب يتخذ شكل حرف S متطاول . ويدل شكل هذا الحرف على نوع من تبدل في اتجاه الريح .



(شكل ١٢٩) ـ كثيب على شكل عرف الديك مع غرد (غ) .

هـذا وتتـألف التراكمات الكبرى في **العروق** من كثبـان متـوازيـة خضعت لتطور أكثر طولاً بكثير من البرخانـات . وتتمـدد كثبـان العروق حسب اتجـاه الريـح ، ريـاح الأليزه (التجـاريـة) بـالمعنى الـواسع ، وتنفصـل عن بعضهـا بممرات . وتصل هذه الممرات على العموم حتى الأساس الـذي يكون عبـارة عن سهل من رمال قديمة تحولت إلى قشرة صلبة ، وتسمى **الجـاسّي gassi** إذن تقوم التـذريـة بتعريـة القشرة في قعر الجـاسي ، ومن هــذا نرى أن العروق الكبرى ناتجة ، بآن واحد ، عن التراكم وعن الحت الريحيين .

وتستدعي الملاحظات إلى أن نحسب حساب دور الرياح المـائلـة بـالنسبـة لريـاح الأليزة لتفسير بعض التفـاصيل . فسلاسل الكثبـان قـد تتزود بـالواقـع بذيول عديدة مـائلـة تمنحهـا على الشكل المستوي رسماً يمـاثل عرف الـديـك أو رافعة عجلة السيـارة (كريكو) . وقـد تتمكن هـذه الأذرع الجـانبيـة من قطع الطريق على الممرات أي الجاسّي . وعندمـا يتلاحم الـذراع الجـانبي مع الكثيب الطـولاني يعمـل على رفـع مستـوى قمتـه كي يشكل نـوعـاً من هرم م أو **غرد** ويكون للكثيب الرئيسي مقطع على شكل أسنـان المنشـار ، أي عرف الـديـك حسب المقطع وحسب المستوى (شكل ١٢٩) .

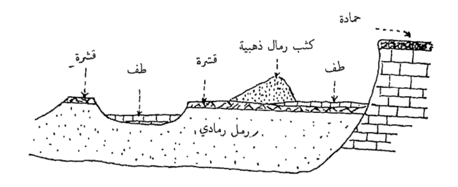
هذا وتنتقل الكثبان الصغيرة حسب سرعة قد تبلغ عشرة أمتـار في السنـة ، غير أن سلاسل العروق الكبرى تكون مستقرة ، ذلـك لأن القوافل التي تسلـك

الجاسي كانت دوماً تسلك نفس الممرات بين الكثبان ، وفي ذلك برهان على ثبات المجموع .

وبطبيعة الحال هناك تمازجات من أشكال بين ميادين البرخانان وبين العروق ، فمثلاً توجد ميادين برخانات تحتل ممرات الجاسي بين كثبان العروق الطولانية .

وهناك تعقيد آخر يعود إلى أن مناخ الصحاري قد تبدل . وإذا ما كانت هناك قشرة تتكشف ، كما سبق ورأينا ، في ممرات الجاسي الفاصلة بين العروق ، فذلك يعود إلى أن الصحراء قد عرفت مناخاً شبه قاحل ، قبل توضع الرمال ، مناخاً يساعد على تشكل ترب ذات قشرات . وهناك قشرات مماثلة تشكلت في عصور مختلفة في الصحراء الكبرى ، ولا سيا وأن هناك ما يسمى الحمادة أو **الدرع الحمادي أو الذبل الحمادي** carapace hamadienne أي قشرة قديمة تصلّب قمة زمرة رسوبية ثلاثية تعود لتشكل قاري ، وينتهي هذا التشكل بقشرة تتصرف وكأنها صخر قاس ، كما تعطي عند حافتها كشاكش أو تشرشرات festonnement مع تلاع شاهدة . وهكذا نجد أن أجزاء كبيرة من الصحراء الكبرى تتألف من هضاب مصفّحة بقشرة قامت عند أقدامها عروق كبرى خلال تعاقب معقد من عدة مراحل (شكل ١٣٠) ونلاحظ نفس الشيء في نجد تحت الكثبان الواقعة بجوار بريدة وعنيزة أي في المنخفضات المسماة خُبوب (جمع خَب) حيث يتم حفر آبار في هذه القشرات التي يبلغ سمكها المترين ثم تظهر تحتها رمال متماسكة غنية بالمياه الباطنية .

أما الحافة الجنوبية للصحاري فقد تعرضت من جهة أخرى ، وذلك في عصر قريب منا ، على مناخ أكثر جفافاً من المناخ الحالي . والواقع فإن النبات يحتل اليوم كثباناً ميتة (أقواز جمع قوز) ، وهي بقايا فترة كان المناخ فيها



« نموذج تطور معقد »

(شكل ١٣٠) ـ تضريس ناجم عن تطور معقد في الصحراء الكبرى (حالة العرق الكبير الغربي) ونجد هنا التعاقب التالي :

١ ـ توضع زمرة رسوبية ثلاثية (دكش moellons) .

٢ ـ تصفح هذه الزمرة بدرع هو الدرع الحمادي في نهاية الدور الثالث . (تحت كلمة حمادة)

٣ ـ حت وبروز تضريس الدرع .

٤ ـ تراكم رمال رمادية عند أقدام الدرع . نقاط متباعدة .

٥ ـ تصفح الرمال المذكورة بقشرة .

٦ ـ حت محلي .

٧ ـ ظهور بحيرات ضحلة سمحت بتوضع الطف الكلسي في التجاويف الحتية وفوق الأجزاء المنبسطة المصفحة بقشرة .

٨ ـ تشكل كثبان الرمال الذهبية .

وتنتسب المراحل من ٣ إلى ٨ إلى الدور الرابع . وقد بولغ مقياس الارتفاع كثيراً .

أكثر جفافاً من الحالي وحيث لم يكن هناك حينئذ أي نبات يغطي الأرض ، كما في إقليمي دارفور وكردوفان في غربي السودان وقد أدّى الرعي الجائر فوق تلك الأقواز الرملية إلى اقتلاع النباتات من جذورها ومن ثم تحرر الرمال التي راحت تشكل برخانات ، أو طعوس حية متحركة تؤلف خطراً على المزروعات مما يؤدي لاستفحال ظاهرة التصحير désertification في نطاق الساحل الإفريقي الذي أصبح يدعى نطاق الجوع الأفريقي . وهكذا نجد أن كل منظومة بيو مناخية تحتل مكانها في تسلسل متصف بتبدلات مناخية .

ملاحظة : نجد في الصحـاري سهولاً كبيرة تسمى بيـدسهول pédiplaines ومستـويـات مـائلـة تـدعى حـادورات glacis . ومرتفعـات منعـزلـة ، هي الأينسلبرغ inselbergs أو الجزر الجبلية ، تشرف على بعضها البعض . ولكن لما كانت هـذه الأشكال لا تنحصر في الصحـاري لوحـدهـا ، فسنـدرسهـا في فصـل مستقل يعتبر امتداداً لدراسة الصحاري ودراسة الأقطار المدارية (الفصل ٧) .

☆ ☆ ☆

الفصل السادس

منظومات الحت في مناطق ما بين المدارين

تمهيد : تكون البيئة المناخية متنوعة جداً في نطاق ما بين المدارين ، ولذا تتنوع المشاهد الجغرافية . ويحوي هذا المناخ بالفعل على كل المراحل الانتقالية بين نطاق الأمطار شبه اليومية الاستوائية وهامش الصحراء ، وفي هذا المجال يشتد تفاوت طول الفصل الجاف .

أولاً ـ المدخل : مشهد الغابة الكثيفة ومشهد الساڤانة .

يمكن أن تطلق صفة استوائي على المناخ الخالي من فصل جاف واضح ، وصفة مداري على المناخ الذي يتناوب فيه فصل جاف وفصل رطب . ولكن التمييز الذي يستند على كثافة الغطاء النباتي يكون هنا أكثر أهمية من التمييز بين المناطق استناداً إلى طول هذين الفصلين .

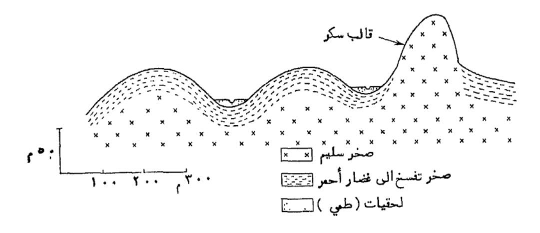
هذا وتنطبق الغابة الكثيفة تقريباً على النطاق الخالي من الفصل الجاف أو ذي الفصل الجاف القصير . وعلى نقيض الغابة نجد الساڤانة في المناطق الأكثر جفافاً ، وهي عبارة عن مساحات تسود فيها الأعشاب المرتفعة والتي تظهر فيها من حين لآخر باقات الأشجار . أما في المناطق الأكثر جفافاً فنجد غابات مفتوحة شوكية ، في إفريقيا ، أو من الصباريات ، كما في **كاتينغا Caatinga** في شمال شرق البرازيل . هذا التشكل المفتوح ينتقل تدريجياً ، وبعد تباعد الأشجار ، إلى الصحراء . وعندما تتكلم عن بيئة غابية بعد قليل فالمقصود ليس الغابة المفتوحة بل الغابة الاستوائية الكثيفة أو شبه الاستوائية .

وتختلف الترب والتضاريس على قدر اختلاف الغطاء النباتي .

١ ـ **في الغابة الكثيفة** ، تكون الترب عبارة عن **غضاريات حمراء سميكة جداً عجينية** ، تستر **عراقيب محدبة رتيبة جداً** ، ولا تبرز منها سوى قباب صخرية ملساء تطل على كل ما يجاورها تسمى **قوالب السكر** كالتي نجدها في مدخل ميناء ريو دي جانيرو لأن لها شكل قوالب السكر المرصوصة ، وذات مقطع على شكل قطع مكافىء parabolique ، تلك القوالب التي كانت معروفة في دكاكين البقالة قبل أربعين سنة مضت (شكل ١٣١) .

٢ ـ **في السافانة** تكثر **الدروع المتصلبة** التي يقطّعها الحت إلى هضاب ، أي لا يكثر الغضار ، ونجد هنا **سطوحاً مسوّاة كبيرة تمتد على مدى البصر** وتشرف عليها تضاريس غير مألوفة ، هي تضاريس **الانسلبرغ** .

ولهذا يجب التمييز بين عبارة **انسلبرغ** وبين قوالب السكر . وتنطلق عبارة إنسلبرغ على تضريس ينبثق بوضوح فوق مساحة منبسطة ، على

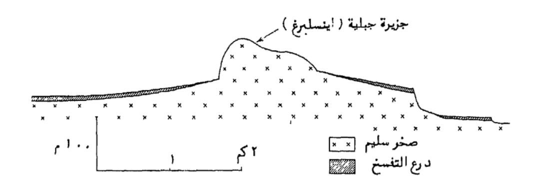


(شكل ١٣١) ـ نموذج التضريس في الغابة الاستوائية

عراقيب غضار التفسخ الأحمر ، ويشرف عليها قالب سكر مؤلف من صخر غير متفسخ .

اختلاف شكل قمته . فقد تكون قمة الإنسلبرغ على شكل قالب سكر أو ذات مقطع مختلف . وتستعمل عبارة **قالب السكر** للكناية عن شكل قمة دون النظر إلى شكل قاعدتها . فلا نستطيع أن نطلق عبارة إنسلبرغ (بور في الصومال) ، مثلما تعثر على العديد منها في شمالي بلاد عسير وجنوب وشرق الطائف في جزيرة العرب ، على قبة تهيمن على عدد لا نهاية له من العراقيب بل يمكن تطبيق عبارة قالب سكر في مثل هذه الحالة فقط .

ومهما كان شأن الاختلافات فإن علينا دراسة بعض المشاكل بالنسبة لمجمل الأقطار الواقعة بين المدارين . والواقع لقد استطاعت التبدلات المناخية في الماضي ، وذلك في منطقة واقعة بين المدارين ، أن تؤدي لتعاقب فترات جافة وفترات رطبة . وهكذا نجد في عقفة نهر النيجر أن الفترات الرطيبة أكثر من الوقت الحاضر أدت لتشكل سماكات كبيرة من الأنقاض المتفسخة أكثر عمقاً من تلك التي تحصل حالياً ، كما أن الفترات الأكثر جفافاً ساعدت على تشكل كثبان عمد النبات في المناخ الحالي إلى تثبيتها ، مثل أقواز غربي السودان .



(شكل ١٣٢) - نموذج تضريس السافانة

أنسلبرغ تطل على سطوح تسوية (يكون قطاع العالية فيها أحياناً على شكل حادور ذي ميل محسوس) . ونجد هنا دروع تفسخ حديدية ferrugineuses (غنية بأكاسيد الحديد) مقطعة على شكل هضاب متدرجة .

ثانياً ـ التفسخ الحدليتي ferrallitique والتصلب الحديدي ferrigineuse :

يعتبر **التفسخ الكيماوي عاملاً جوهرياً** في نطاق ما بين المدارين . وينتج عن المطر الدافىء ويمارس عمله طيلة العام تحت مناخ استوائي ، وخلال الفصل الرطب فقط في المناخ المداري حيث يتعاقب فصل الجفاف مع فصل الأمطار .

هذا ويتم تفسخ الفلزات حسب نفس النسق الذي يتم في النطاقات المناخية الأخرى . فالتفسخ يهاجم الأملاح بادىء ذي بدء ثم الصخور الكلسية التي تذوب بسرعة ، وبعدئذ الفلزات القلوية ، أي تلك التي تدخل في الأسس bases الرئيسية . وإذا كان التفسخ لا يتقدم لأبعد من ذلك في النطاقين المعتدلين ، فإن **السيليس يتحلل أيضاً** في أقطار ما بين المدارين ، بسبب شدة ارتفاع الحرارة ، ومن ثم تسحبه المياه المتسربة في باطن الأرض . وتتعرض الفلزات الغضارية التي تتشكل هناك للافتقار إلى السيليس ، وخاصة أنواع الكاءولينيت ، التي تصبح عبارة عن غضاريات أفقر في السيليس من مثيلاتها في الأقطار المعتدلة .

هذا ويظل الألومين وبعض أكاسيد الحديد عاتية على الذوبان . وبينما نجد في النطاق المعتدل أن الترب تحتفظ بصورة رئيسية بالسيليس وبالألومين وبأكاسيد الحديد ، لذا يقال أن النطاق المعتدل يخضع لفساد سيالتي siallitique ، نجد أنه لا يبقى في نطاق ما بين المدارين إلا العنصرين الآخرين أي الألومين وبعض أكاسيد الحديد ؛ ولهذا يقال يسود هناك تفسخ الليتي allitique ، أو بالأحرى ، **حدليتي** ، أي تفسخ لا يحتفظ بغير الحديد والألومين .

وإذا كانت أكاسيد الحديد ، التي تتشكل في النطاق المعتدل ، مؤلفة خاصة من الليمونيت ، وهو عبارة عن أكاسيد ممّيهة $2Fe^{2}O^{3} , 3H^{2}O$ وله لون الصدأ ، ويدعى المغرة ، ففي أقطار ما بين المدارين تتشكل فلزات **الهيماتيت** ، أي أوكسيد حديد لا مائي ، مجفف بسبب شدة التبخر الناجم عن الحر ويكون له لون الدم .

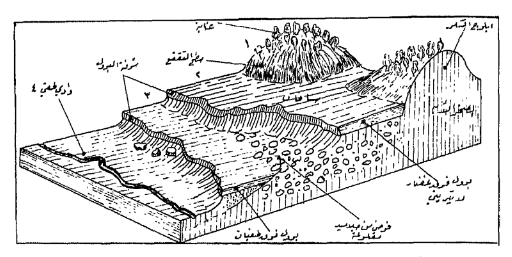
ومن المسلَّم به أن **اختلافات سلوك الصخور تكون** كبيرة . وإذا لم نتعرض هنا لبحث الصخور الكلسية التي درسنا مورفولوجيتها ذات الأصالة على حدة ، بسبب أهليتها للذوبان ، في الفصل السادس ، فإن علينا أن نميز بين أكثر الصخور أساسيّة basiques التي لا تعطي سوى القليل من الكاءولينيت ، والتي تتشكل فيها الدروع الحديدية بسهولة ، وبين الصخور الحامضة كأنواع الغرانيت التي لا تعطي دروعاً إلا بصعوبة . فعروق الكوارتز المؤلفة من سيليس نقي يظل سيليسها يقاوم بصورة أفضل بكثير من سيليس الصخور ذات الفلدسبات ، فتظل العروق المذكورة ذات تضريس بارز ، ناتىء وهي تؤلف تضاريس الدايك dyke في نجد الغربية وبلاد عسير .

ولما كان الفساد في نطاق ما بين المدارين مرتبطاً بالرطوبة ، فمن السهل علينا أن ندرك سبب كون الفساد المذكور **بطيئاً أكثر فوق الصخرات** المنعزلة التي تتجفف بسرعة ، وكذلك على المنحدرات الشديدة حيث يكون الصخر عارياً ، في حين يكون التفسخ نشيطاً تحت توضعات رخوة أو تحت تربة تحتفظ بالرطوبة . وهكذا نلاحظ ، وهذا على خلاف ما يظن الكثيرون ، أن خواص قوالب السكر تظل نسبياً ذات مناعة ضد عوادي التفسخ . إذن يؤدي التفسخ في منطقة ما بين المدارين إلى استفحال المفارقات بين المنحدرات ذات الصخور الملساء ، التي لا تتعرض كثيراً للحت ، وبين

السفوح الضعيفة الميل ، المغلفة بغطاء من تربة حمراء تلعب دور ضماد رطب مانع لالتئام الجروح الحتية ، والذي يسبب وضعاً موائماً للتفسخ .

هذا ويختلف تأثير هذه العوامل ، التي درسناها آنفاً ، **من خط الاستواء حتى الصحراء** باختلاف مقادير الأمطار . ففي المناطق الاستوائية أو المدارية الرطبة تبلغ سماكة أغطية التفسخ حداً يتراوح بين ١٠ م و ٥٠ م . ولكن هذه السماكة تكون أقل من ذلك في مناطق المناخ المداري حيث يقل مجموع الأمطار السنوية عن ١٠٠٠ مم أو عن ٨٠٠ مم فتبلغ المترين عمقاً على سفوح قمة السوداء (٣١٠٠ م) قرب مدينة أبها عاصمة اقليم عسير . ولكن الدروع قد تتشكل هنا . أما إذا قلت الأمطار عن ٦٠٠ مم فإن التفسخ الحديدي ذاته لا يحصل هناك أبداً .

وهكذا تضطرنا اختلافات المناخ ، والتي تضاف إليها اختلافات البيئة البيولوجية ، تضطرنا إذن إلى دراسة منفصلة تتناول البيئة الرطبة في الغابة الكثيفة ، ودراسة مناطق الساڤانة أو الغابة الشوكية حيث يخلق فصل الجفاف الطويل وقلة مقادير الأمطار شروطاً ذات أصالة .



(شكل ١٣٣) : عناصر مورفولوجية في الساڤانة الإفريقية . (لاحظ شكل ١٣٤)

وكلمة bowl بووال تعني هنا صفيحات صلبة تدعى الدروع الحديدية لغناها بالحديد .

ثالثاً ـ أصالة مورفولوجية الغابة الكثيفة .

تتفسخ الصخور في الغابة الكثيفة ، ذات الفصل الجاف القصير والمتصف برطوبة هوائية شديدة ، **أقول تتفسخ هذه الصخور بعمق وتتحول خاصة إلى كاءولينيت** . ويغطي الغضار الأحمر الذي يبلغ سمكه بضعة أمتار ، يغطي السفوح ، لدرجة تنعدم فيها التكشفات الصخرية وحجارة البناء .

والطبغرافية الأكثر انتشاراً تكون على شكل **تيه من العراقيب** . وقد يبلغ انحدار هذه العراقيب درجة شديدة نوعاً ما فتبلغ ٤٥ درجة أحياناً . ولا يهين على هذه العراقيب سوى القباب المتبلورة السليمة والتي تشكل « قوالب سكر » ، وهي بقايا من صخور قاسية اكتسبت مناعة نسبية لأنها لا تكون مغطاة بغطاء تفسخي مرطّب .

وهكذا تكون قوالب السكر عبارة عن تضاريس حت تفاضلي . بقي علينا أن نعرف لماذا يكون لها شكل قطع مكافىء منتظم ؛ هذه المشكلة لا تزال موضع نقاش ولن نتعرض لها في هذا المجال .

وقد يتمكن الحت فوق سفوح العراقيب من جرف التربة الحمراء السميكة وتتشكل مسيلات ذات سفوح منتصبة وعرة تدعى **لاڤاكا Lavaka** في المناطق الرطبة من جزيرة مدغسكر .

اما الدروع التي قد يعثر عليها في الغابة الكثيفة ، كما في غابة ساحل العاج او حوض الامازون فيبدو أن من الواجب ان نفسرها على انها آثار باقية غير معاصرة inactuel من مناخ قديم ، مداري جاف .

واكثر الاشكال أصالة على المجاري المائية في هذا النطاق هو **تناوب**

درع حديدي يضم في العالية
أنقاضا بوكسيتية وفي السافلة
لحقيات: حادور يتحول الى
مصطبة في السافلة
نفس الشيء ولكن الدرع
اقل تماسكا واتصالا
درع بوكسيتي
(ميوسيني ؟)
Roche altérée صخر فاسد
واد حالي

(شكل ١٣٤) ـ مخطط لمشاهد الدروع المتبقية النموذجية في النطاق السوداني في افريقيا الغربية . لقد كان التطور كما يلي :

١ ـ تشكل درع الوميني (بوكسيتي) أوليغوسيني أو ميوسيني .

٢ ـ حت هذا الدرع وتشكل حادور مدرع يؤلف سمح واد وينتهي عند لحقيات نهر .

٣ ـ حت جديد جعل اللحقيات تبرز كتضريس وتؤلف مصطبة في حين يتكيف حادور في اسفل هذا التضريس ويؤدي لظهور وضع جديد لخط القاع .

٤ ـ مرحلة حفر جديد في الوادي حتى مستوى خط القاع الحالي .

القطاعات الهادئة biefs **مع الجنادل** rapides وهذا ما يفسره الحت التفاضلي ، وانعدام الانتظام هذا هو نظير المفارقة الملحوظة بين قوالب السكر وبين العراقيب الغضارية ، فحيثما يكون الصخر متفسخا لعمق كبير ، يستيطيع النهر ان يشكل قطاعا هادئا ، ولكنه يحفر بصعوبة في الصخر المحلي . وانعدام انتظام مقاطع الانهار الطولانية هو نتيجة الكشط السريع الذي اعترى الغطاء التفسخي غير المنتظم ، وذلك استجابة للنهوض الثلاثي الذي خضعت له حينذاك المناطق المدارية كالركيزة البرازيلية والترس الافريقي . ولا نجد في السهول مواد صخرية طرية كما في النطاق الرسوبي في حوض الامازون . وعلى كل حال ليس من المعتقد أن الشلالات الافريقية هي نتيجة عمليّات أسر حديثة ، لان لدينا دلائل جيولوجية على استمرارية مجاري انهارها . هذا كما لا يجوز أبدا الاعتقاد بأن وجود الشلالات هو برهان على عجز الانهار ، لأنها قادرة فعلا على ممارسة الحت .

رابعا ـ اصالة مورفولوجية السافانة .

يجنح التفسخ لأن يتم في السافانة ذات الفصلين المتباينين خلال الفصل الرطب أي يتم كما هو الحال في الغابة الكثيفة ، ولكن **في الفصل الجاف** يتوقف كل تحلل ، ولا سيما اوكسيد الحديد الموجود في الترب ، والذي يتثبت في محله ويجنح لان يشكل **دروعا حديدية** لا يتمكن الفصل الرطب القادم من تفسخها . وهذه الدروع cuirasses هي عبارة عن تشكلات يبلغ سمكها وسطيا ما بين متر واحد الى مترين ، تغطي وتصفّح الصخر السليم أو صخراً متفسخا تحول الى غضار على سماكة تعادل تقريبا سمك الدروع . وتكون هذه الدروع مقاومة للغاية ، ومتآخذة رغم تشققها ، ولا تصلح للزراعة مطلقا . ويعود تشكلها اما الى توضع الحديد الموجود في مركب تفسخ التربة ، وإما الى الحديد الذي جلبته المياه المذيبة ابتداء من دروع قديمة . وهذه الدروع تعمل ، شأن القشرة الصحراوية في الاقطار شبه القاحلة ، على تعقيم الاراضي الزُراعية .

اما في المناطق التي تقل فيها الامطار عن متر واحد فان الدروع الناتجة عن الهجرة الشاقولية التي تعتري مركّب التفسخ لا تتشكل اليوم ، كما لا يبدو أنها تشكلت منذ حقبة قديمة (او ليغوسين او ميوسين) ، غير أن الدروع ذات التشكل الجانبي apport latéral فقد تشكلت في عدة عصور وتؤلف زمرة من مصاطب ، او على الاصح حادورات . وقد استعملت كلمة **بووال** bowal (الجمع بوويه) للكناية عن التلاع وعن الحادورات المعلقة ، ويتغذى الحادور في عاليته من الحديد القادم من الدرع الواقع في الاعلى ، وهنا يشطر الحادور الصخر المحلي او يغلف ضمن توضعاته الجلاميد المنهالة ، ولكنه يتحول في قطاع سافلته الى لحقيات نهرية . وهكذا تقوم الدروع الحديدية احيانا بمهمة تلاحم اللحقيات (شكل ١٣٤) .

وهناك ايضا ، اي في المناطق المدارية ذات الفصل الجاف والفصل الرطب المتناوبين ، مساحات شديدة الانبساط ، تلك هي **البيد سهول** pediplaines وتكون هذه المساحات تحت هيمنة جبال منعزلة تنتصب وكأنها جزر تبرز فوق سطح البحر : وهي **الاينسلبرغ** .

وتدعى السهول التي تقع تحت هيمنة هذه الجزر الصخرية البيدسهول ، وتطرح هذه الاشكال جميعا مشكلة عويصة بالنسبة لتفسير أصلها ، ونظرا الى ان هذه الاشكال تكون مشتركة بين قسم كبير من الصحراء وبين المنطقة المدارية ، فانها ستدرس على حدة .[٤٢]



(٤٢) **المورفولوجيا الساحلية في المناطق المدارية** : تحوي السواحل المدارية ظواهر خاصة بها . ففيها تكثر الارصفة المرجانية كسواحل البحر الاحمر وشمال شرق استراليا ، كما ان الرمل يتكتل احيانا على شكل رصيف من حجر رملي تحت ماء البحر ، على مسافة بضعة أمتار في مقدمة البلاج ، كالرصيف الذي منح لمدينة رصيف recife البرازيلية اسمها ، والذي لازال اصله وامثاله غير معروف تماما ، كما أن الرقع الوحلية الساحلية تتثبت بسهولة اكبر كلما تثبتت فيها الجذور الهوائية لاشجار **المنغروف** .

الفصل السابع

المسألة المشتركة بين المناطق القاحلة وبين السافانات :

الحادورات glacis ، البيدسهل والاينسلبرغ

أولاً ـ الأشكال

١ ـ **الحادور** وهو شكل طبغرافي ذو ميل طولاني واضح ، يتراوح وسطيا بين درجة واحدة وخمس درجات ، وهو ميل ثابت أو مقعر قليلا ، ولكن الميل الجانبي يكون معدوما تماما ، او بعبارة اخرى فان مايسمى الفلوج أو **ريل** rills[٤٣] التي تحزز الحادور انما تجري بصورة متوازية دون أن تتعمق بصورة محسوسة في سطح الحادور ، بحيث لا يمكن التمييز بين السرر والفواصل النهرية . أما اذا تعمق المجرى المائي في الحادور فمعنى ذلك ان الحادور المذكور يخضع للتصابي وان الحادور عبارة عن شكل من الماضي . وهكذا نجد في ولاية المكسيك الجديدة وفي الجنوب المراكشي حادورات محززة بواسطة مجار مائية حالية (شكل ١٣٥ ب) . كما يمكن ان يُستحاث حادور قديم بواسطة مسكوبة لابية وان يتحزز في بعض الامكنة ، وذلك حينما تفتقد هذه الحماية أي بعد زوال اللابة جزئياً بفعل الحت وتعرية ما تحتها ، كحالة بيديمنت اورتيز ortiz في ولاية المكسيك الجديدة (شكل ١٣٥ أ) . واحيانا ربما كان الحادور قد تعرض لحت بحيث نشأ حادور جديد في حضيضه . ونلاحظ في الجنوب المغربي (اي

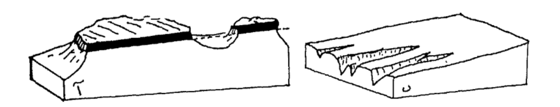
---

(٤٣) كلمة انكليزية تعني ثلمات ضحلة ، قلبلذ التعرج . وهي اشكال صغيرة يقل عمقها عن متر واحد وكذلك عرضها ولا تتشكل الا في التربة او في التشكلات السطحية في اعقاب سيول عنيفة فجائية .

جنوب جبال الاطلسي الخلفي) وجود عدة حادورات محتضنة أو مصندقة emboités ومصفحة بقشرات كلسية . ولكن لكل منها مستوى مائل . وكل تعمق في المجاري المائية يؤدي لتخريب الحادور الذي لا يمكن تفسير تشكله اذن الا بدءا من تطور يبدأ من سطح الارض .

وليس الحادور عبارة عن شكل ردمي ، لكن ربما يتصل باتجاه عاليته بخاريط انصباب منطلقة من الجبل ، كما هو الحال في بيمونت piedmont طهران ، غير أن هذه المجلوبات الانقاضية تقل ثخانتها تدريجيا باتجاه السافلة . والمألوف ان لانجد سوى تصفيحات placages لحقية رقيقة ، وهذا برهان عن وجود توازن بين الحت وبين التراكم .

هذا وقد يكون حد الحادور في عاليته عبارة عن جبل ، أو نطاق سفوح قليلة الارتفاع او كريت crêt بنيوية منغزلة ، او جبل منعزل ، اي اينسلبرغ . غير أننا سنرى ان نظير هذه العبارة ليس صحيحا ، فكل اشكال الاينسلبرغ ليست عبارة عن نقاط انطلاق لحادورات شعاعية . وعندما يهيمن ميل شبه قائم على الحادور فان هذا الجرف يتصل معه بقطاع مقعر قصير جدا ، هو عبارة عن حدور talus [٤٤] تتفتت عنده الجلاميد ، كما قد يحدث ان

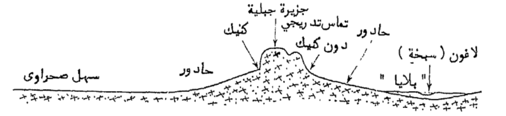


(شكل ١٣٥ ـ آ ـ حادور مستحات (استحاث بسكوبة لابية قديمة ، حالة بيديمنت اورتيز) .
ب ـ حادور قديم خلال تخريبه بالتخديد (حالة الجنوب المراكشي) .

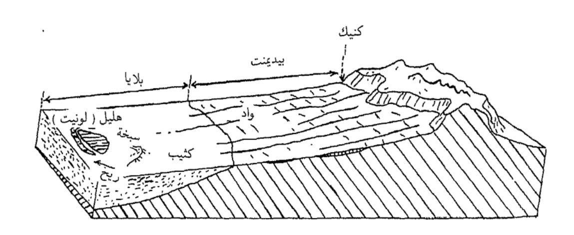
---

(٤٤) الحدور talus شكل طبغرافي في حين ان الحادور glacis شكل مورفولوجي ناجم عن الحت تحت مناخ معين .

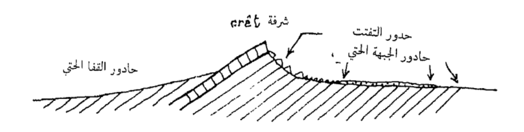
يكون التماس على شكل خط منكسر واضح ، ذاك هو التماس الفجائي الذي سماه الجغرافيون الالمان كنيك knick (شكل ١٣٦) .



(شكل ١٣٦) - حادوران يتحولان الى بيدسل او سهل حتي صحراوي (الى اليسار) ومن الناحية الاخرى الى بلايا ، وهو سهل انتشار رسوبي عند سافلة حادور حتي ، ونجد في وسطه سبخة .



(شكل ١٣٧) - الشروط البنيوية المنسجمة افتراضا . حالة بيدمنت بحت . وتدعى الدخلات عند الكنيك (ايمبايمنت embayment) . هذا وقد يختفي انقطاع الميل الفجائي العائد للسطح الصخري المدفون تحت البلايا اذا لم يكن نطاق البلايا معرضا للانكباس subsidence .



(شكل ١٣٨) - نموذجان لحادور حتّي صرف تكونا في صخر طري في أسفل تعريس من أصل بنيوي .

اما من طرف السافلة فان الحادور قد ينتهي على واد جاف oued او على بيد سهل pediplaine يتصل به الحادور بصورة غير محسوسة ، او على نطاق تراكم ، هي سهل الانفراش épandage او الانتشار ، وفوق سهل الانفراش هذا ، الذي يدعى احيانا **بلايا أو باهادا** ، تقع غالبا بحيرة ضحلة موقتة ، هي السبخة ، التي تتحول صيفا الى قشرة ملحية ، كمعظم سبخاتنا الواقعة على الحدود العراقية ، مثل سبخة البوارة أو شط في المغرب العربي مثل شط الغرسة . ويكون الترسب هنا غرينيا ، وفي النادر ، غضاريا .

ومن المناسب ان نميز ، وذلك استنادا الى الشروط المحلية ، بين **الحادورات** الصرفة وبين البيديمنت . فالحادورات الصرفة هي التي تشكلت فوق صخر طري تحت اقدام تضاريس بنيوية ، اي تحت جبهة او ظهر كريت crêt او تحت جبهة او ظهر كويستا الخ . وعلى العكس فان **البيديمنت** pediment فهو عبارة عن حادور تكيف في صخر منسجم في قساوته ، اي صخر متبلور ، آخذ في التفسخ السطحي . وهذه العبارة أي بيديمنت التي استعملت بشكل مفرط فأطلقت على كل الحادورات ، تعني جبهية fronton لان الاينسلبرغ تبدو بين بيديمنتين وكأنها تمثال ينتصب فوق جبهية المعبد الاغريقي المثلثية . والجرف الذي يحد البيديمنت باتجاه العالية لا يعود لأصل بنيوي ، بل هو عبارة عن نهشة حتية في الكتلة الجبلية .

٢ ـ **البيدسهل** : وهو عبارة عن رقعة اقل ميلا بكثير من البيديمنت او الحادور ، اذ يكاد يكون الانحدار معدوما في سائر الاتجاهات . وقد يتصل البيدسهل بحادورات ، او قد يتكئ على عدة اينسلبرغات دون وجود مستويات مائلة تصل بينها . والكثير من هذه الصفات تكون مشتركة مع الحادورات كوجود غطاء انقاضي قليل السماكة . وقد تجوب بعض المجاري

المائية الموقتة سطح البيدسهل ولكن دون ان تتعمق فيه ، حتى ان فروق المستويات فيه تكون من الضعف بحيث لا تتجاوز المتر . ويمتد على مدى البصر ولا تتوقف العين الا عند الاينسلبرغات التي تهيمن على انبساط البيدسهل .

وقد يتصفح البيدسهل ، كما هو حال الحادور ، بدرع حديدي ، ولكن هذا ليس بالقاعدة العامة .

٣ ـ **الاينسلبرغ** هو تضريس منعزل ، يتراوح ارتفاعه بين بضع عشرات الامتار حتى ٥٠٠ م أو اكثر من ذلك ، منبثقا فوق بيدسهل أو فوق حادور ، ويكون التماس بواسطة انقطاع في الميل واضح واحيانا واضح جدا . وتوحي كلمة اينسلبرغ بالعزلة ، ولكن اشكال الاينسلبرغ قد تنحصر مكانيا على شكل مجموعات او قد تشكل كتلة متماسكة ، وهنا نكون عند حدود هذا المفهوم . وتكون اشكال القمم متنوعة ، ويندر ان تكون قاعدة الاينسبلبرغ محجوبة بجدور المهيلات[٤٥] .

ثانيا ـ التوزع الاقليمي

لايكون التوزع الاقليمي متماثلا بالنسبة للأشكال الثلاثة وهي الحادور والبيدسهل والاينسلبرغ . فرقعة البيدسهول الحديثة والغضة تكون محدودة وأبعد باتجاه الجنوب من رقعة الحادورات . أما **الحادورات** ، او على الاقل الحادورات الحتية في صخر طري ، فهي شكل حي حتى نطاق البحر الابيض المتوسط الذي يكاد يكون كله ضمن مجال الحادورات . اما **البيدسهول** فلا

---

(٤٥) وتكثر هذه الاشكال ، اي الاينسلبرغ ، في السودان وخاصة بجوار كسلا ، واكثر من ذلك في الصومال ، حيث تسمى الواحدة منها بور Bur ، وتسمى بعض القرى أو المدن الصغرى باسمها مثل بور أبيي الذي يرتفع الى ٦٠٠ م فوق سطح هضبة لا تزيد عن ٢٠٠ م وبور عقبة المجاور . وكلاهما يقعان الى الشمال الغربي من العاصمة مقديشو على مسافة ١١٠ كم تقريبا .

تصعد شمالا لأبعد من شمال غربي الصحراء الكبرى وهي ان لم تكن معاصرة حديثة على الاقل ، فهي عبارة عن اشكال غضة . غير أن البيدسهول الموجودة في النطاقات الصحراوية تعود كما يعتقد الى مناخ مداري قديم اقل جفافا من المناخ الحالي . لكن الحادورات والبيديمنتات وخاصة البيدسهول تكون واسعة الانتشار جدا في النطاق المداري ذي فصل الجفاف الطويل ، ولكنها تقل تدريجيا كلما اقتربنا من المناطق الاستوائية حيث يسود نثير من التلال الحمراء . وتوجد اشكال **الاينسلبرغ** المميزة في النطاق المداري والصحراوي ولا تعتبر اشكالا حالية في النطاق الاستوائي ، ولا في النطاق الرومي (المتوسطي) .

ثالثا ـ محاولات تفسير هذه الاشكال

تبدو المشاكل التي تطرحها الحادورات والبيدسهول والاينسلبرغات على غاية من التعقيد .

ومن المقبول ان شكل **الاينسلبرغ** لا يتكون في المناطق المعتدلة لأن الانحدارات القائمة تكون هنا عرضة لعوامل الحت كما أن المنحدرات الصخرية التي تتجفف بسرعة في النطاقين القاحل والمداري ، تكون ذات مناعة ضد الحت . وفي حين يتقدم التفسخ الكيماوي تحت غطاء الفساد ، فان الصخر العادي يظل تقريبا سليما . ولكن كيف يتأتى للصخر ان يتعرى في بادئ الامر ؟ هذا ويفسر **البيدسهل** ايضا بالتباين القائم بين المنحدرات الشديدة التي تكون ذات مناعة تجاه الحت وبين المناطق الرطبة الخاضعة للفساد . ولما كان للبيد . بهل ميل ضعيف جدا في كل الاتجاهات ، فمن الميسور ان يكون الفساد فيه مرتبطا باستمرار الرطوبة . ولكن لما كان النطاق المداري اقل رطوبة من النطاق الاستوائي فان الفساد لا يمكن ان يهبط لعمق كبير . ولما

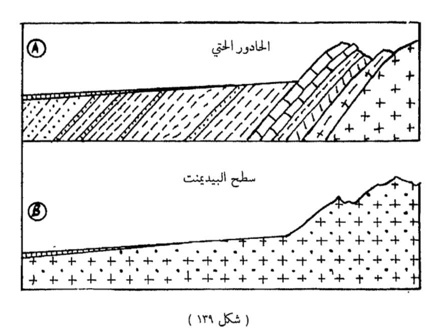
كانت الاودية عاجزة عن التعمق بسرعة عند بلوغها الصخر المحلي ، فليس هناك من تحزيز يعمل على تصابي التضريس . اما البيدسهول التي نجدها اليوم تحت مناخ صحراوي ، فان انقاضها السطحية تتعرض للتحريك بفعل السيلان النادر وبفعل الريح وتصبح عبارة عن رق ، بيد أن تهديمها مستحيل .

هذا وتوحي **الحادورات** بتطورات حتية مشتركة جزئيا مع البيدسهول ، وجزئيا مغايرة ، علما بأن كل الاشكال الانتقالية مع البيدسهول يمكن العثور عليها . وكما هو الحال بالنسبة للبيدسهول ، تكون الحادورات متصفة بضعف الحت الخطّي linéaire . ولكن يجب تفسير الميل الطولاني المحسوس في الحادورات ولكن هنا نتصدّى لمشكلة عسيرة للغاية مما لايدع مجالا لمعالجتها هنا .

ونكتفي هنا فقط بالقول بأن التفكك الميكانيكي والكيماوي يتضافر مع السيلان في الثلمات rigoles على شكل اغشية واسعة sheet - flood وهو سيلان عاجز عن الحفر والذي يستطيع كشف الانقاض فقط . والواقع تكون المياه مفرطة الحمولة وبالتالي لا تستطيع اذن ان تحزز في المستويات الكبيرة المائلة التي تحتفظ فوقها بميل شديد (شكل ١٣٩) .

رابعا ـ الخلاصة

تتميز المناطق المدارية والقاحلة وشبه القاحلة بالمفارقات بين الاشكال ذات الانحدار الشديد وبين الاشكال المنبسطة (حادورات . بيدسهول) . هذه التضاريس الناتئة تكون على علاقة بقحولة المناخ (لان المنحدرات تتجفف سريعا وتتحصن ضد الحت) ومع مصاعب الحفر الخطّي الذي يفسر بضعف الفساد الكيماوي (اختلاف مع المناطق الاستوائية) .



(شكل ١٣٩)

الفصل الثامن

نبذة عن الحت البشري

تمهيد : يستطيع الانسان ان يحوّر في الغطاء النباتي الطبيعي ، وبذلك يصنع شروطا بيولوجية جديدة ينطلق منها نظام حتي أصيل ، هو نظام يصنع شروطا بيولوجية جديدة ينطلق منها نظام حتي أصيل ، هو نظام الحت البشري . ويؤثر الانسان قبل كل شيء باخضاع اراض جديدة للزراعة او للرعي على حساب الغابة او التشكلات الشجرية ، مثلما يستطيع ان يؤثر ايضا بواسطة قطعانه التي تتمكن من تخريب نبات المراعي عندما يكون عدد رؤوس الماشية بالنسبة لوحدة المساحة كبير جدا ، وهذا ما يسمى بفرط العبء الرعوي وينتج عن هذه التأثيرات استفحال الحت ، استفحال يتم على حساب المساحات المفيدة ، والذي يمكن ان يتخذ شكل كارثة قومية : ذاك هو حت التربة .



يمكن ان يكون هذا الحت نتيجة **ماء السيلان** ، فوق المنحدرات ، او ناجما عن **الريح** فوق مساحات واسعة كما يمكن للمنحدرات الطويلة الضعيفة ان تكون مسرحاً لهذين العاملين معا .

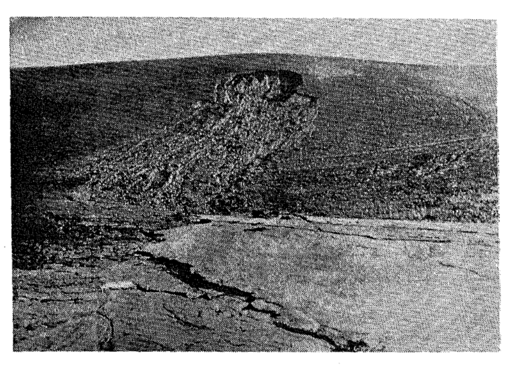
ويكون حت التربة عنيفا جدا في المناخات شبه القاحلة حيث تفقد الترب تماسكها خلال فترات الجفاف الطويلة اللهم الا حيث تتشكل قشرة كلسية ، ولكن تكون الزراعة هنا عسيرة ان لم نقل مستحيلة وحيث تعيث الزخات المطرية الشديدة والمتباعدة تخريبا وكذلك الرياح العنيفة . ويمكن لحت التربة ان يكون خطيرا اذا كان نظام الزراعة يترك الارض عارية ، كنظام البور او زراعة محاصيل لا تغطي التربة تماما ، بينما يكون خفيفا عند

ممارسة زراعات تغطي الارض كالبرسيم . هذا **وتتلقف التذرية اكثر العناصر نعومة في الترب** ، بينما توضّع الرمال عند اقدام العوائق وتثير عواصف غبارية مع الجزيئات الغضارية والغرينية . ومن المنطقي ان تكون العناصر الباقية في محلها ذات مقاييس خشنة جدا تعجز النباتات عن استغلالها ، وهكذا تتخرب التربة بهذا **المفعول الاصطفائي** للحت الريحي .

هذا وقد يظل الحت السيلاني سطحيا او يحفر **ثلمات** وحتى **مسيلات** تمدد باتجاه العالية بفعل الحت التراجعي . ويستطيع الانسان ان **يكافح** ضد حت التربة وذلك **بحراثة الارض حسب خطوط التسوية أو** contourtillage بحيث يحال بين السيلان وبين ان يتولد في ثلمات تنشأ على طول الميل ، وبتحويل تربة التلال الى مصاطب افقية ، وحتى ذات ميل متعاكس مع الميل العام ، منفصلة عن بعضها بدرجات ، كالمدرجات المزروعة بالتفاح في لبنان . كما يكون من المناسب لتحديد اضرار التذرية ، تحاشي البور وحراثة الارض بصورة متعامدة مع الريح وبجعل زراعة المحاصيل على شكل شرطان متعاقبة strips ممتدة هي ايضا بصورة متعامدة مع اكثر الرياح عتوا . ومن المفيد جدا زراعة صفوف الاشجار كمصدات للريح كحواجز اشجار العفص في جنوبي فرنسا للوقاية من رياح المسترال ، او زراعة شجيرات الطرفاء والأثل والكسر ولينا والاوكاليبتوس (ويدعى كينا في سورية ، كافور في مصر) في واحات المملكة السعودية .

ويقوم السيلان بتلقف اكثر العناصر نعومة شأن الريح ، وينتج عن ذلك اقتصار **تغذية انهار المناطق المزروعة على الانقاض الدقيقة** بصورة رئيسية ، باستثناء العناصر القادرة على اعطاء جلاميد وحصباء . ولهذا لا توضع الفيضانات الحالية ، فيما عدا المناطق الجبلية ، سوى لحقيات ناعمة ، مما

يشكل الى حد ما تعويضا مفيدا لحت التربة ، ذلك ان الفيضـان يخصب ارض السهول بتوضعاته ، لاسيا اذا كانت عديمـة الصرف الخـارجي ، كسهول سوريـا الداخلية حيث نجد اجود السهول الزراعية في المنخفضات في حين تكون التلال بلا تربة على الغالب كأكثر التلال والجبال الممتدة شرقي نهر الاردن .



صورة رقم ١٦ ـ حت التربـة في غربي الولايـات المتحـدة . الحت على شكل أثـلام أو ريـل rills (الى اليمين) وعلى شكل تخديد (في الوسط) وتكدس الانقاض الدقيقة في قاع الوادي .

الجزء الرابع

الجيومورفولوجيا الساحلية

الفصل الأول

الحت الساحلي

مقدمة : يتم التماس بين الارض والبحر بشكل خاص في نطاق الساطر ، وهو مجال ينحصر بين اعلى مستوى لسطح البحر وبين ادنى مستوى له . ويبلغ اختلاف المستوى بين المد والجزر ، هذا الاختلاف الذي يدعى البراح marnage ، يبلغ ٢٠ م في اقصى حالاته ، ولكن على الغالب مترين او ثلاثة وحتى اقل من ذلك . بيد أن الحت الساحلي يصيب جزءا من الارض يعلو فوق مستوى المد : كالجدران أي الجروف الساحلية ، أو الرواشن ، والمجالات التي يصل اليها رذاذ البحر ، وفضلا عن ذلك فان النطاقات المغمورة تنتسب بدورها للمجال الساحلي بسبب العمل التحتائي الذي تقوم به الموجة عند تحطمها .

ولم تكن السواحل دوما محدودة مكانيا في مواقعها الحالية ، لان الطغيانات والانحسارات تعاقبت خلال التاريخ الجيولوجي ، بسبب الحركات التي انتابت الارض وحركات مستوى سطح المحيطات . فالساحل اذن عبارة عن وضع عابر كخط الساحل والذي سبق له ان ترك في اتجاه البحر او في اتجاه الارض آثارا عن وضع سابق .

اولا ـ عوامل الحت الساحلي .

ان العوامل الرئيسية في الحت الساحلي هي الامواج والتيارات . ولكن علينا ان نتذكر مع ذلك ان هناك تأثيرات اخرى تقوم بدورها ايضا ولا سيما التحلل الذي يقوم به الرذاذ وركود برك الماء البحري فوق الساطر ، لاسيما اذا كان الصخر هنا كلسيا .

١ ـ وتنتج **الامواج** عن حركة تموجية . فترسم كل ذرة ماء دائرة كاملة تقريبا ، بحيث ان كل ذرة تعود بلا توقف تقريبا لنفس المكان : هذه هي

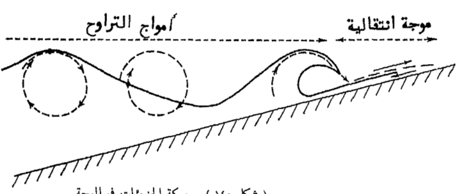
الحركة الاهتزازية oscillatoire التي تختلف عن حركة الانتقال التي تحرك الذرات بصورة كتلية .

ويطلق على الموجة التي يدفعها الريح عبارة **الموجة المقسورة** . وفي مقابل ذلك تطلق عبارة **الهول** houle على تعاقب الامواج الناجمة عن الريح ، ولكنها تنتشر في خارج المجال الذي يهب منه الريح . ويتعلق مقياس الامواج بقوة الريح ، وبديمومته ، وبمقياس السطح المائي الذي يهب فوقه ، أي بمدى ، أو بالاحرى ، **بشوطه** course (او fetch بالانكليزية) ، ويندر ان يتجاوز ارتفاع الموجة خمسة أمتار ، وتكون المسافة بين موجتين دوما أكبر بكثير من ارتفاعها .

وعند اقتراب الموجة من الساحل فانها تتعرض لتغييرات ، فما أن يصبح العمق اقل من نصف طول الموجة ، حتى تصاب الموجة **بالانكسار** اي تغير اتجاهها بحيث تصبح موازية لخطوط الاعماق المتساوية ، وتأخذ بضرب الساحل عمودياً . وفي الواقع تكون الموجة تجاه الرؤوس ، حيث يقل العمق ، تكون هذه الموجة مكبوحة بقوة تفوق كثيرا تلك التي تعرقلها عند مدخل الخلجان . وفي نفس الوقت تخضع الموجة لتحولات شكلية .

هذا ولا تستطيع الحركة الدائرية ، **في الماء الضحل** ، أن تستمر . لذا تتهدر الموجة وتتحول الى كومة من الزبد وبذلك **تحولت الذبذبة الى** موجة انتقالية (شكل ١٤٠) . وتمارس الموجة عملا قد يكون كبيرا جدا بفعل الضغط ، والصدم ، والقصف مستعينة بالعناصر الصلبة التي تحملها . وكل موجة متهدرة تحمل ، وتحفر ، وتوضّع .

واذا كان من الممكن ملاحظة عمل الموجة المتهدرة فان عمل الموجة فوق القاع قبل التهدر لا يزال غير معلوم جيدا . ويذهب بعض المؤلفين الى القول



(شكل ١٤٠) ـ حركة الجزيئات في الموجة

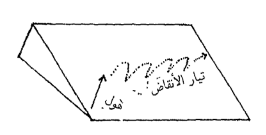
لاحظ الحركة شبه الدائرية orbitaire لجزيئات الماء والتهدر الذي يحول الموجة المتذبذبة الى موجة انتقالية .

بأنه يحصل عمل كشط مهم على عمق يصل الى بضع عشرات الامتار ، في حين يرى البعض ان العمل الحتي في القاع ضعيف .

٢ ـ وتكون **التيارات** من نماذج عديدة جدا . والتيارات التي تمس المورفولوجيا الساحلية اكثر من سواها هي تيارات الانقاض وتيارات المد والجزر .

آ) وتحصل **تيارات الانقاض** عندما لا تضرب الامواج الساحل باتجاه عمودي (رغم الانكسار réfraction ، وهذه حالة عامة ، لان الانكسار يخفف الميل دون ان يقضي عليه تماما) . ويتم التراجع حسب زاوية انعكاس تعادل تقريبا زاوية السقوط incidence ، وهكذا « تنعكس » الانقاض في كل موجة وتتبع مسيرة أمتيّة en zigzag تكون محصلتها انتقال الانقاض بصورة موازية للساحل (شكل ١٤١) .

ب) تيارات المد والجزر . لا تعتبر حركات المد والجزر بحد ذاتها تيارا بكل معنى الكلمة . ولكن تياراً ما ينتج عن المد والجزر لأنه نتيجة اختلاف مستوى الماء بين نقطتين : وكما هو الحال بالنسبة لتيار نهري ، فهو يعود



(شكل ١٤١) ـ تيار الأنقاض على البلاج .تيار الانقاض . هول

لظاهرة الثقالة . هذا التيار الذي يكون ضعيفا يصبح سريعا في المضائق وفي المصبات النهرية .

ويقوم تيار المد والجزر ، شأن التيار النهري ، بالحفر وبالتركيم حسب طرائق معقدة لا مجال لدراستها هنا .

ثانيا ـ أشكال الجدار الساحلي والبلاج[٤٦]

إذا كانت نتيجة عمل الموجة والتيارات هي الحت فإن الشكل الناتج هو الجدار الساحلي أو الروشن falaise أما إذا كانت نتيجة عملها هو التراكم فإن الشكل الناتج هو البلاج . ونصادف كلا الشكلين على ساحل واحد إذ قد يتشكل بلاج في قطاع محمي ، ويتكيف جدار ساحلي بفعل الحت عند نقطة شديدة التعرض كالرؤوس .

١ ـ **الجدار الساحلي** : الجدار الساحلي عبارة عن نشزة « غير مستورة بالنبات ، ذات ميل شديد ، يتراوح ميلها بين ١٥ درجة و ٩٠ درجة أو تكون على شكل سقيفة ، مختلفة الارتفاع جدا عند تماس البر مع البحر وناتجة عن العمل البحري أو عن وجوده في السابق (آ . غيلشر) » .

وليس كل ساحل صخري هو عبارة عن ساحل ذي روشن ، وعلى العكس قد نجد رواشن « جدران ساحلية » في تشكلات غير صخرية كالطمي مثلا ، أو

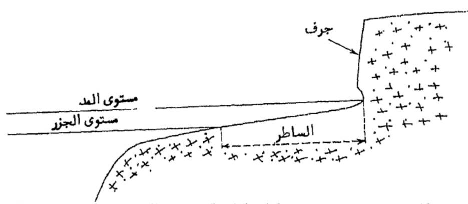
(٤٦) الجدار الساحلي أو الجرف الساحلي أو الروشن كلمات مترادفة تقابل كلمة falaise الفرنسية .

بمعنى آخر إن عبارة ساحل صخري وعبارة ساحل ذو روشن ليستا مترادفتين .

هـذا ونميز **الرواشن الحيـة** التي لا تزال معرضـة لتلاطم أمواج البحر عن **الرواشن الميتة** ، وهي المنفصلة عن البحر بنطاق توضع ، مثال ذلـك طرفـا مصب نهر السوم Somme الخليجي .

تشكل الروشن falaise **أو الجدار السـاحلي :** تستند النظرية التقليدية في تشكل الروشن على دور الحت الميكانيكي الـذي تقـوم بـه الأمـواج ، وقـد أظهرت الأبحاث الحـديثـة أن عوامل أخرى تضـافرت مع الحت الميكانيكي وإن تراجع الروشن كان متفاوتا جدا حسب نوعية الصخور ، حتى أنـه ليكون شبـه معدوم بالنسبة لبعضها .

واستنادا إلى النظرية التقليدية ، فـإن الصـدم coup de bélier الـذي تقوم به الأمواج ، والذي يماثل الصدم الذي كانت تقوم به الأعمدة الخشبيـة الغليظـة في تقويض أسوار المـدن المحـاصرة ، هو الـذي ينسف قـاعـدة جرف السـاحل ، ويمنحـه شكل سقيفـة ، أو شرفـة ، ويؤدي إلى انهيـال كتلي . بيـد أن التقـويـر الذي يدعى تقوير النحر أو النسف ، والذي يتشكل في قاعدة الرواشن ، كثيرا مـا ينسب ، على العكس ، إلى الحت الكيمـاوي . ولا يمكننـا أن نعـزو هـذا التقـوير إلى النحر أو النسف sapement إلا في حـالـة صخر طري ، أمـا في الصخور الأخرى ، وخاصة في حالـة الصخور الكلسيـة المقـاومـة ، فـإن التحلل بـواسطـة الرذاذ وبـواسطـة البرك الصغيرة vasques هـو الـذي يلعب الـدور الرئيسي ، كما أن تقهقر السـاحـل قـد يكـون هـزيـلاً جـداً . وقـد يحـدث أن لايتشكل أي روشن كما قد لايكون للجرف الساحلي أية علاقة مع عمل البحر ، كأن يكون نـاتجـا عن ثنيـة flexure أو عن صـدع ، وهنـا نكون تجـاه **روشن مزيف** ، وهنا لا يجوز الخلط مع الروشن الميت الناجم عن عمل بحري سابق .



(شكل ١٤٢) ـ روشن وعتبة حت ساحلي . الفارق العمودي بين المستويين هو البراخ . روشن تقليدي ذو شرفة أو سقيفة . لاحظ عتبة الحت الساحلي وهي مستمرة تحت مستوى الجزر .

ونجد أحيانا في مقدمة الروشن عتبة مغمورة (شكل ١٤٢) سماها بعض العلماء عتبة النحت abrasion ، ولكنه من الأنسب أن ندعوها عتبة الحت البحري أو عتبة الحت الساحلي(٤٧) لأن الحت ليس العامل الوحيد الذي يكيفها ولأن التحلل يلعب دوره أيضا .

يتعلق **مقطع الرواشن** إلى حد كبير بطبيعة الصخور ، ونستطيع أن نميز بصورة خاصة ما يلي :

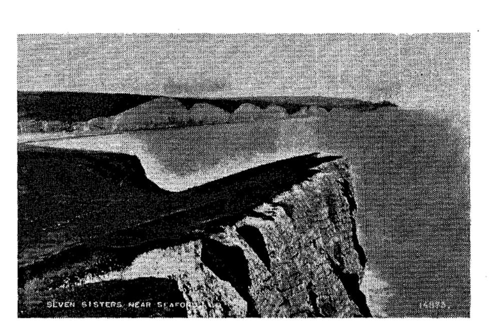
١ ـ الرواشن الحوارية العالية (نموذج بلادكو Caux) شمالي فرنسا وجنوبي انكلترا .

٢ ـ الرواشن الكاذبة في الصخور المتبلورة .

٣ ـ الرواشن ذات الانزلاقات أو ذات مسكوبات الطين الغضاري .

(٤٧) ليست عتبة الحت الساحلي سوى جزء من مجموع يمتد كثيرا لأبعد من ذلك في اتجاه عرض البحر ، هو **العتبة القارية** . وتدل هذه العبارة على نطاق ضحل (دون ١٨٠ م) يحاذي القارة ويعرض تجاه السهول ويضيق أمام الجبال . وتنتسب بعض البحار الجانبية إليه كليا مثل بحر المانش وبحر الشمال ، ولا يزال أصلها مجهولا ، أي أصل العتبة المذكورة .

أما من طرف عرض البحر فإن العتبة القارية تكون محدودة **بحدور قاري** يربطها بواسطة انحدار شديد مع القيعان المحيطية . ويكون الحدور المذكور محززا بوديان تحتانية ، هي **الخوانق البحرية** التي تكون عبارة عن أودية برية قديمة غارت تحت الماء ، أو عبارة عن أشكال حتية ناتجة عن تيارات تحتانية



صورة رقم ١٧ ـ الأخوات السبع قرب سيفورد على الساحل البريطاني . لاحظ الأودية المعلقة أو « الفاللوز » وهو روشن من النمط الأول .

٢ ـ **البلاج** : البلاج هو « تراكم يحدث عند حافة البحر ، مؤلف من أنقاض أكثر خشونة من العناصر الرئيسية في الوحل » ، علما بأن بعض البلاجات تتحول إلى مواحل vasières في نطاق حركة الجزر . ونحتفظ بكلمة غراف grève للكناية عن بلاج مؤلف من الحصباء .

وتشتمل **مواد** البلاجات على جلاميد ، وحصباء ، وبحص ، ورمال وحتى على عناصر أكثر نعومة . ولا تنتج المواد الدقيقة مطلقا عن تهشم أنقاض خشنة بفعل البحر ، بل الصحيح هو أن البحر يتلقفها كما هي : فالرمال تصدر إما عن توضعات نهرية أو عن صخور تفسخت مسبقا كالغرانيت . ولكن إذا كان البحر لا يهشم الأنقاض فهو على الأقل يكيّفها : فهو يعمد إلى صقل الرمال وإلى تبسيط الحصباء بسرعة تفوق ما تقوم به الأنهار .

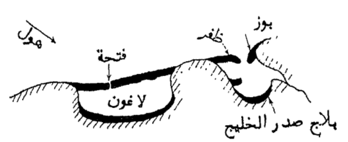
هذا وللبلاج **قسم مغمور وقسم طاف** ينتهي أحيانا **بعرف** ، **وتزداد** خشونة مواد البلاج كلما اتجهنا من الأسفل إلى الأعلى ، أو من عرض

البحر باتجاه البر ، وفوق القسم الطافي تنشأ **كثبان** كالتي نجدها تجاه ساحل عكار . ولا يزيد ارتفاع غالبية هذه الكثبان عن بضعة أمتار ، ولكن هناك كثبان ساحلية يبلغ ارتفاعها مائة متر مثل كثيب بيلا pyla في غاسقونيا ، في جنوب غرب فرنسا . ويفسر تشكل الكثبان بوجود رياح شديدة قادمة من عرض البحر . ومما يساعد على تكوينها انعدام النبات فوق البلاج وقدرة الريح على تجفيف الرمال الرطبة . وإذا اجتاح النبات الكثيب فإنه يثبته إلى أن تهب عاصفة شاذة في عنفها فتفتح ثغرة فيه على شكل قِدر chaudron تدعى كاودير caoudeyre في جنوب غرب فرنسا وهو تطور يماثل تطور الأقواز في السودان .

مرتسم ووضع البلاجات : تكون البلاجات تارة مرتبطة بتسننات الساحل ، وتارة تكون مستقلة بصورة متفاوتة عن مرتسم الساحل . وفي هذه الحالة يدعى القسم الطافي من البلاج **الحبل الساحلي** أو **عرف طليعة الساحل العائم** .

ونستطيع أن نميز بين البلاجات المرتبطة بتسنن الساحل ما يلي : (شكل ١٤٣) .

١ ـ بلاجات صدر الخليج التي تتخذ شكل قوس دائرة ، أي حسب الرسم الذي تجنح الأمواج لاتخاذه بفعل انكسار الأمواج المتهدرة .



(شكل ١٤٣) ـ تحديد مواقع مختلف نماذجات البلاجات

وقد نجد البوز musoir أيضا فوق الصخر المحلي ، إلى يمين الشكل .

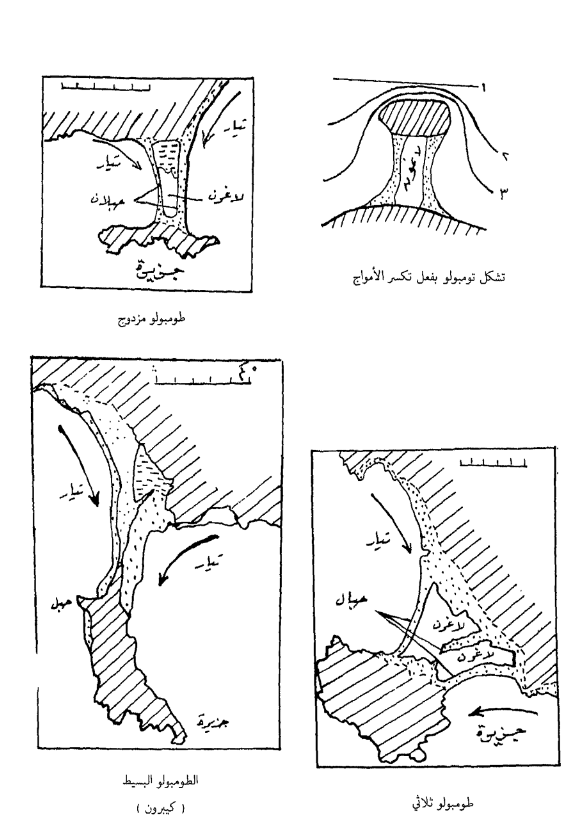
٢ ـ البلاجات التي تعمل على حجز خليج في منتصف الطريق بين رأسه وبين مدخله ، وهي نادرة نوعا ما .

٣ ـ الأسهم التي تجنح إلى حجز مدخل الخليج ، وهي حالة كثيرة الحدوث ، وهي التي يطلق عليها كلمة poulier المستعملة في إقليم بيكاردي في شمال فرنسا ، وتقابلها كلمة **ظفر** العربية .

هذا ويجنح الظفر إلى تحويل الخليج إلى لاغون مثل بحيرات الساحل المصري على البحر الأبيض المتوسط مثل البرلس ومريوط . ويتحقق ذلك إذا لم يكن هناك نهر هام يصب فيه ، أي في الخليج ، وإذا كان التبخر والتسرب كافيين لتفريغ المياه التي تصل إليه . ولكن يحدث في أغلب الأحيان أن يبقى هناك ممرات تؤمن خروج الماء القاري الأصل مثلما تسمح بمرور تيار المد . ونسمي الواحد من هذه الممرات بوغاز أو **غروس** graus وهي كلمة دارجة في منطقة لانغدوك السفلى ، جنوبي فرنسا .

وعلى العموم ينشأ الظفر على طرف واحد من الخليج ويتقدم حسب اتجاه تيار الأنقاض . أما الضفة المقابلة ، فعلى العكس ، تتعرض للتآكل ، وهي **البوز** musoir وهي عبارة بيكاردية نسبة إلى إقليم بيكاردي في شمالي فرنسا أيضا . ونجد أمثلة جيدة عن « الأظافر » على الساحل البيكاردي عند كل مصب نهري ، وعند رأس فيريه Ferret الذي يعمل على إغلاق حوض آركاشون Arcachon في جوار مدينة بوردو وفي ما يسمى بالنهرونغ Nehrung على الساحل الجنوبي لبحر البلطيك .

وهناك أيضا بلاجات غير مرتبطة بالساحل البدائي . وأفضل الأمثلة عن هذه الحبال الساحلية أو الأعراف الساحلية الطلائعية العائمة يتمثل في رأس



تشكل تومبولو بفعل تكسر الأمواج

طومبولو مزدوج

الطومبولو البسيط

(كيرون)

طومبولو ثلاثي

(شكل ١٤٤) ـ تومبولو بسيط وتومبولو مضاعف (تمثيل مسطح) تشكل طومبولو بفعل تكسر الأمواج

هاتراس على الساحل الأطلنطي للولايات المتحدة . وقد يتشبث الحبل الرملي أيضا بجزيرة صخرية صغيرة ويظل على الغالب في عرض البحر بالنسبة للساحل الأصلي . تلك هي حالة خط البلاج في اللانغدوك السفلى ، والمتكئ على النتوء البركاني المؤلف من جبل آغد Agde وعلى طية سات Sète الكلسية ، غربي مرسيليا .

كما يستطيع سهم رملي أن يربط جزيرة بالساحل القريب . وتسمى عندئذ **تومبولو** tombolo ولا تعني هذه الكلمة الجزيرة والسهم سوية ، بل السهم الرملي لوحده .

هذا وقد تكون الأشكال متفاوتة في تعقيدها (شكل ١٤٤) : فهناك أشكال تومبولو بسيطة مثل تومبولو كيبرون في بريتانيا ، وتومبولو مضاعف مثل تومبولوجيان Giens على الساحل الفرنسي الجنوبي ، وطومبولو مثلث مثل طومبولو اورتوبيللو Ortebello على ساحل ماريم Maremmes على الساحل الإيطالي المطل على البحر التيريني .

ويكون المرتسم المسطح لكل نماذج البلاجات على العموم بسيطا ، وتتميز السواحل المؤلفة من هذه البلاجات من قطاعات كبيرة مستقيمة ، كالساحل الفلسطيني بين غزة ورأس الكرمل ، أو على شكل أقواس ذات قطر انحنائي كبير ، يكون التقعر متجها نحو البحر . غير أن الأظافر تتخذ أحيانا شكل كلاّب crochet في نهايتها . ومن ناحية أخرى هناك بعض البلاجات المعقدة التي ترسم بوزا متقدما مؤلفا من حبال متعاقبة ، وهذه هي حالة دارس Darss على الساحل البلطي ، وحبال منطقة دونجنس Dungeness على الساحل البريطاني المطل على مضيق بادو كاليه .

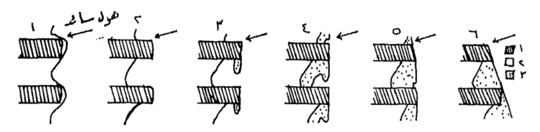
ثالثا ـ تقويم الساحل بسبب تراجع الروشن وبناء البلاجات .

من المألوف التأكيد بأن ساحلاً شاباً هو عبارة عن ساحل مسنن أو مشرشر يتطور نحو الهرم بتقويمه بفعل نسف الرؤوس وانسداد مداخل الخلجان بأسهم تتعرض اللاغونات خلفها للانطماء بسرعة . هذه النظرية صحيحة في خطوطها الكبرى (شكل ١٤٥) .

وعلى كل يبدو من المناسب تقديم بعض التوضيحات عن بعض نقاط النظرية التقليدية .

١ ـ مثلما رأينا سابقا أن تضريسا قاريّا ناضجا يؤدي لاستفحال الاختلافات الليتولوجية ، تلك الاختلافات التي لا تنمحي إلا في مرحلة الهرم ، وكذلك يحدث بعد التصابي ، أي بعد تغريق مثلا ، أن يعمل البحر على استفحال تسننات خط الساحل . والواقع كثيرا ما يتعرض التضريس القاري المغرق إلى الانطماس 'empate بفعل انطماء قاع الأودية ، وتزايد سماكة الترب التي تحجب انقطاعات الميل . ويعمد البحر بادئ ذي بدء إلى كشط هذه التوضعات الرخوة وبذلك يزيد في تعرجات المرتسم الساحلي . وقد دعى العالم جونسون المرحلة التي تنجم عن عملية « شطف » التوضعات الرخوة وأول عملية في تشديد تفاوت شكل الساحل « المرحلة المفرّضة » crénelé (شكل ١٤٥ ـ ٢) .

٢ ـ ولا يعمل الحت البحري التفاضلي إلا في التوضعات الرخوة . وقد رأينا كم يكون تراجع الرواشن متفاوتا حسب نوعية الصخور . وينتج عن ذلك أن يقدم لنا خط الساحل دخلات وبروزات ناجمة عن هذا العمل . غير أن البحر لا يستطيع أن يحفر بعمق في الأراضي إذ سرعان ما ينكبح عنفوان الأمواج بشدة عند كل دخلة .



(شكل ١٤٥) ـ تقويم خط الساحل.

١ ـ صخر مقاوم ، ٢ ـ صخر طري ، ٣ ـ التراكم الساحلي .

لاحظ المرحلة المفرضة في ٢ ، وكيف أن الزمن الذي يمر بين مرحلتين متتابعتين يزداد طولا أكثر فأكثر .

ورغم هذه التحفظات التي قدمناها ، فإن التقويم هو الاتجاه العام لتطور خط الساحل ، ويتم ذلك بصورة تجعل الساحل يتخذ اتجاها متعامدا مع موج الهول السائد (شكل ١٤٥ ـ ٤) .

رابعا ـ الأشكال : المصبات الخليجية ، المستنقعات البحرية ، الدلتات .

المصب الخليجي هو الجزء الأدنى من النهر حيث تكون حركة المد والجزر محسوسة . أما المستنقع البحري فهو نطاق منخفض لا يتصل بالضرورة بمصب نهري ، ولكن قد يتلقى أنهارا صغيرة . والدلتا عبارة عن مصب نهري تتكدس فيه اللحقيات لدرجة تجعله يتقدم على حساب البحر ، أو جعلته يتقدم . وبين هذه المفاهيم الثلاثة لا يكون التخم الفاصل واضحا تماما . ترى ألا يمكن اعتبار دلتا النهر الأحمر ، في فيتنام الشمالية ، والذي يتعرض لتيارات مد وجزر ، يبلغ مداها أربعة أمتار ، كمصب خليجي estuaire ؟ فغالبا ما يتميز الدلتا بانقسام النهر إلى عدة أذرع ، ولكن ليس هذا بقاعدة ، لأن هناك دلتات وحيدة الذراع مثل دلتا نهر التيبر في إيطاليا : ولكن هذا لا يمنع من وجود الدلتا لأن هناك تراكم لحقيات تزحف على حساب البحر . وأخيرا فإن الاصطلاحات تزداد تعقيدا بدلتات المد ، أي تلك التراكمات الحاصلة بفعل تيار

المد في مدخل مستنقع ساحلي ، كحوض آركاشون ، في خليج غاسقونيا ، أو الساحل الجنوبي الشرقي في الولايات المتحدة .

هذا وتحوي المستنقعات الساحلية والمصبات الخليجية نقاطا عديدة مشتركة . فتتميز بوجود قنوات محفورة بفعل تيارات المد والجزر وبوجود نطاقات الترسب . وينسب تشكلها إلى الطغيان الفلاندري[٤٨] الذي غرّق النطاقات المنخفضة فضلا عن المصبات النهرية ، ومن ذلك تشكلت المستنقعات البحرية ، من ناحية ، والمخارج النهرية التي تشكلت منها المصبات النهرية ، من ناحية أخرى . وعلى كل حال يمكن أن يتشكل مستنقع خلف سهم رملي دون أن تكون هناك ضرورة لافتراض حدوث تغريق قاري . كما يفسر عرض المصبات النهرية بدور تيارات المد والجزر دون أن يكون التغريق ضروريا لفهم الأشكال .

وتبدو المصبات الخليجية والمستنقعات كمواحل تتلوى فيها قناة ، أو زمرة من قنوات المد والجزر . وقد يجتاح النبات أحيانا الوحل ، فيشكل نباتا شجريا مثل **المانقروف** المداري كما هو الحال قرب مدينة جيزان على البحر الأحمر قرب الحدود اليمنية السعودية أو عشبيا مثل **سبارتينا** في سواحل أوروبا الشمالية الغربية . وإذا كان الموحل vasiére غير مغطى تماما بالنبات ، وتجتاحه المياه خلال بضع ساعات عند كل موجة مد ، فيدعى حينئذ **سليك** Slikke . أما إذا كان مستورا بالنبات ، فيدعى **شور** Schorre ويتألف من وحل متجفف ، له قوام الحبوب ، ولا يتغطى بالماء إلا في خلال فترات منفصلة عن بعضها البعض . وقد لا تتمكن موجات المد والجزر من أن تحتل سوى بضع قنوات ترسم أحيانا أكواعا بديعة .

---

(٤٨) القسم الأعلى من الدور الرابع بعد انحسار آخر زحف جمودي .

هـذا وتتشكل **الـدلتـات** عنـدمـا تتفوق الرسوبـات التي يجلبهـا النهر على الحت . وتتشكل الدلتات العديدة على بحـار مغلقـة مثل دلتـا الفولغـا على بحر الخزر أو على بحـار بلا حركات مـد وجـزر ، كالبحر الأبيض المتـوسـط ، حيث نجد دلتات نهر الرون ، ونهر النيل ، ونهر البو ، أو على بحر ضعيف المـد والجزر كبحر الشمال ، حيث يشكل نهر الرين دلتـاه في هـولنـدا . ويعتبر غيـاب المـد والجـزر أو ضعفـه بـالطبع من الشروط الموائمـة لتشكل الـدلتـات . ولكن لا تستطيـع حركات المـد والجـزر ، بـالنسبـة لبعض الأنهـار الشـديـدة الحمولـة الصلبة ، وذلك رغم سعة مـداهـا الشـاقولي والأفقي ، لا تستطيع أن تجرف كل اللحقيات المجلوبة ، كحال النهر الأحمر في فيتنام الشمالية .

وقد يكون الدلتا مغموراً بالماء : فهناك دلتـات تحتـائيـة تستطيع زيـادة بسيطة في التراكم أن تحولها إلى دلتات حقيقية ، فتجاه مينـاء سـان نـازير ، في غرب فرنسـا ، يكون نهر اللوار مقسومـا إلى ممرين منفصلين بقـاع بحري ضحل ينكشف قسم منه في حالة الجزر . ولا يؤلف الدلتـا بـالفعل سوى حـالـة إطماء فريدة ، فالنهر يوضّع عند مصبه لأن السرعة تتناقص عنده فجأة ، مثل حالـة تشكل مخروط الانصباب في الوادي الرئيسي بالنسبة للسيل .

ويبلغ هذا الإطماء نسبا أكبر بكثير في الدلتـا ممـا هي في المصب الخليجي لأن الكميات الصلبة المجلوبة بواسطـة النهر تكون فيـه غير متعـادلـة مطلقـا مع القدرة الحتية لتيارات المد والجزر . وينتج عن ذلـك أحيـانـا انقسـام النهر إلى أذرع ، ومن هـذا ينشـأ وضع شكل مثلث ، وهـو شكل الحرف اليـونـاني د أي دلتا ، الذي منح اسمه لهذا النموذج من المصبات .

والـدلتـا عبـارة عن شكل متحرك جـدا لأن كل ذراع نهري يقـوم بتعليـة مجراه بواسطة الإطماء ، فيبني حواجب على كل ضفة ويتوصل بـذلـك للإطلال

من علٍ على جانبيه ، ويؤدي فيضان ما إلى فتح ثغرة في الحاجب الطبيعي فيتشكل مجرى مائي جديد .

ولكن تقدم الدلتا لا يكون مستمرا إلى ما لا نهاية ، وذلك لسببين : من ناحية ، يجنح كل ذراع يتطاول إلى تخفيض ميله الطولاني ، أي إلى أن يصبح محروما من الماء لحساب أذرعة ذات ميل أكثر شدة .

ـ ومن ناحية أخرى يتزايد العمل الحتي الذي يقوم به موج الهول أكثر فأكثر كلما تقدمت فوهة النهر نحو عرض البحر .

وقد نجد على نفس الدلتا إذن قطاعات في حالة تقدم ، وقطاعات موقوفة ، وقطاعات في حالة تقهقر ، وهذه الاختلافات ناتجة عن دور كل من التراكم النهري ، والتراكم البحري ، وحت أمواج الهول (شكل ١٤٦ أ) . والعمل الأخير يتعلق كثيرا بتعرّض وتوجّه الساحل . فبالنسبة لدلتا كامارغ ، الذي يشكله نهر الرون ، فإن القطاعات الموجهة للجنوب الشرقي ، أي إلى أكثر أمواج الهول عتوا[٤٩] ، هي التي تكون موقوفة حتى ولو كانت تتلقى لحقيات نهرية هامة . كما تقوم تيارات الأنقاض بإنشاء أسهم تتشكل عليها كثبان .

وتنتج بنية الدلتات عن كل هذه العوامل . فهي تتميز بالتجزؤ cloisonnement ، الناجم عن وجود حواجب levées الأذرع الحالية أو من أذرع قديمة مهجورة ، من ناحية ، ومن عصيبات عرضانية بالنسبة لخطوط الحواجب والتي هي عبارة عن أوضاع الحبل الساحلي السابقة في مختلف مراحل تقدمه ، من ناحية أخرى . وتؤدي هذه التجزؤات إلى تشكل « مساكب » مستنقعية أحيانا ، مثل مستنقع فاكارس Vaccarès في دلتا نهر الرون ، وكذلك بحيرات دلتا نهر النيل مثل البرلس والمنزلة وأدكو ، ولكن الإنسان استطاع

(٤٩) وذلك لأن رياح المسترال الشمالية ، لا تتسبب مطلقا في تشكيل أمواج هول ذات بال .

تجفيف بعض المستنقعات التي تتجاور في الـدلتـات ، مثل الـدلتـات الكبرى في آسيا الموسمية ، وحقول البولـدر في دلتـا نهر الراين في هولنـدا وبلجيكا ، ودلتـا نهر الموز التي تعتبر جميعا من أبدع التحولات الطارئة على المشهد الطبيعي .

وإذا تركنا جانبا المنجزات البشرية ، فإن الدلتات لا تبدو متشابهـة أبـدا (شكل ١٤٦) :

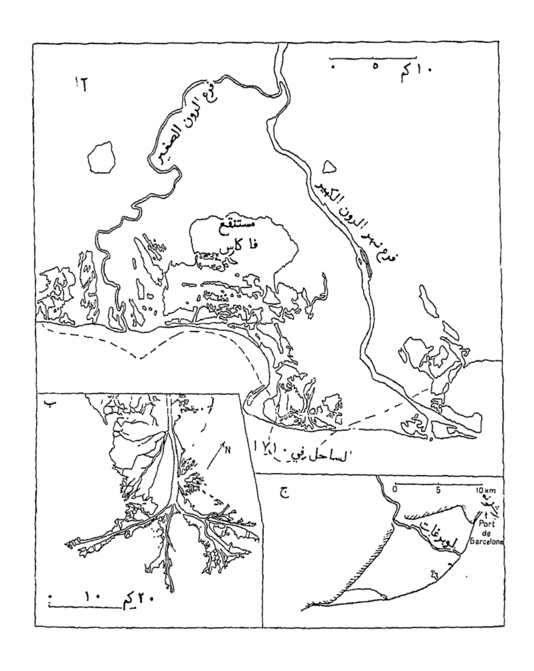
آ ـ فهناك دلتات تتصف بتراكم نهري شديـد ، تكون ذات **فصوص** lobés وكل فص يشير إلى تقـدم في عرض البحر مثـل دلتـا الرون ودلتـا نهر البـو في البحر الآدريـاتيكي . وإذا كان التقـدم أكثر سرعـة من ذلــك تشكلت دلتــات **اصبعية** digités ، كـدلتـا نهر الميسيسبي لأن كل ذراع يتقـدم في البحر يشكل اصبعا طويلا (شكل ١٤٦ ب) .

ب) الدلتات التي يتفوق عندها الحت البحري وتحتوي على شكل ساحلي **مستـدير** ، كـدلتـا نهر لـوبرغـات في قطـالـونيـا شرقي اسبـانيـا قرب مينــاء برشلونة ، ودلتا نهر النيل ، بحيث تجعل الساحل تجاهها مستديرا مقوسا .

خامسا : الأشكال : المشيدات الكلسية ، المرجانيات

تستطيـع بعض العضـويـات أن تبني سـواحـل برمتهـا . وتتـألف هـذه الكائنات في الغـالب من مرجـانيـات . وتكون الأشكال المورفولوجيـة متعـددة ولكن يندر أن تكون دوما بسيطة .

آ) **فالأرصفة الحاجزة** تتشكل على مسافة ما من ساحل جزيرة صغيرة أو ساحل قارة ، وينتسب إلى هـذا النموذج حـاجز كوينسلانـد الكبير في شمال شرق استراليـا ، وغـالبـا مـا تكون هـذه الحواجز مقطعـة بممرات وذات مرتسم معقد .



(شكل ١٤٦) ـ نماذج الدلتات

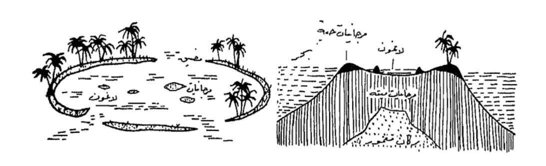
أ ـ دلتا نهر الرون المفصص (كامارغ) . لاحظ تفاوت تراجع الساحل . أما الجزر الموازية لبحيرة فاكارس فهي عبارة عن حبال ساحلية قديمة .

ب ـ جزء من الدلتا الاصبعي في نهر الميسيسبي .

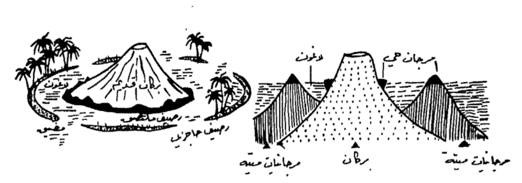
جـ ـ دلتا لوبرغات المستدير .

ب ـ **الأرصفة اللاصقة frangeants** وتكون متلاحمة مع ساحل غير مرجاني وقد تكون مسبوقة برصيف حاجز مرجاني مثل الشعاب المرجانية في البحر الأحمر .

جـ ـ **المشيدات الحلقية** ، وأجمل نماذجها هي الآتول atolls (شكل ١٤٧) وتتألف من بركة مركزية ، هي **اللاغون** Lagon ، ومحاطة بحزام مرجاني وهذا هو وضع معظم جزر المالديف في المحيط الهندي .



جزيرة منخفضة أو أتول مع نثير من المرجانيات في اللاغون .



جزيرة عالية مع أرصفة ملتصقة وأرصفة حاجزية .

(شكل ١٤٧)

الفصل الثاني

النماذج الرئيسية للسواحل

يمكننا أن نميز الأشكال التالية عند اختيارنا أكثر النماذج الساحلية وضوحاً :

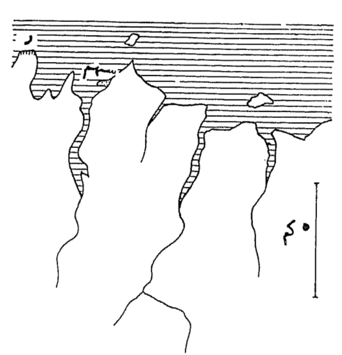
أولاً ـ السواحل ذات الرياس rias:

نطلق كلمة ريا ria ، وهي عبارة مستعارة من لهجة غاليسيا الإسبانية ، على واد نهري اجتاحه البحر جزئياً أو كلياً (شكل ١٤٨) . ويكون الريا متشعباً أحياناً وقد يحوي على أكواع شأن الشبكة النهرية .وقد يعود التغريق لأصل تكتوني ، ولكن قد ينتج عن الطغيان الفلاندري (بعد جمودي) . ولما كان الطغيان المذكور قد طغى على كل سواحل العالم فإن بعض الآراء تذهب إلى أن كل السواحل هي سواحل ذات رياس . ولكن هذا لا ينطبق على السواحل التالية :

ـ السواحل التي بصم الحت الجمودي عليها طابعه بصورة عميقة كسواحل النرويج .

ـ السواحل التي تطيف بأرض محرومة من الصرف كالصحاري والمناطق الكارستية ، أي أن أخوار بلاد مسقط وعمان لا تدخل في عدادها .

ـ السواحل التي تعرضت لنهوض شديد قادر على تعويض أثر التغريق ،



(شكل ١٤٨) - مرتسم ذو رياس (جمع ريا) .

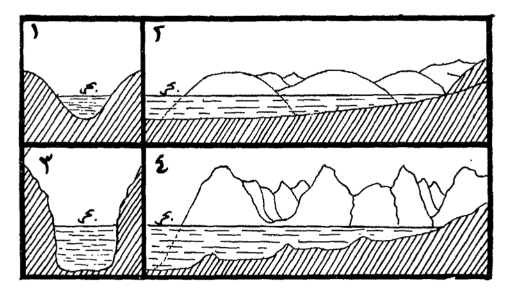
نموذج يمثل على ساحل شمالي بريتانيا . لاحظ بداية التقويم . فقد بتر رأس ر على شكل روشن falaise ، وبداية ظهور سهم رملي يتشبث عند مدخل الريا .

أو السواحل التي لم تكن تشتمل على أودية نهرية مقومة ، بسبب نهوض شديد سابق للطغيان الفلاندري ، بل كانت تحتوي فقط على مسيلات vallons شديدة الميل تمثل فيها نهوض مستوى سطح الماء خلال الفترة الفلاندرية على شكل شرم بسيط .

- السواحل التي كانت تحوي قبل الطغيان الفلاندري على طبوغرافية ضئيلة التمايز في تفاصيلها ، كالسهول المنخفضة ، بحيث لا يكون من الميسور تمييز المصبات النهرية عن المستنقعات البحرية بصورة واضحة .

- السواحل التي أدى التراكم في خلال ما بعد الفلاندري إلى طمس كل أثر ممكن للريا فيها .

وعلى العكس فإن أجمل أشكال الرياس هي تلك التي نجمت عن تغريق



مقطع عرضاني ١ وطولاني ٢ لرياس
مقطع عرضاني ٣ وطولاني ٤ لفيورد .
(شكل ١٤٩)

وديان كان لديها الوقت الكافي لأن تزداد عرضاً قبل الطغيان الفلاندري مع احتفاظها بجوانب واضحة بشكل جيد (شكل ١٤٩) .

هذا وقد يكون ساحل الرياس مقوّماً إلى حدّ ما ، فالدخلات تتطور بفضل الردم الوحلي ، على غرار المصبات الخليجية ، أو بتشكل دلتات ، مثلما تتطور النتوءات بتشكل الرواشن ، بيد أن العهد القريب بالطغيان الفلاندري لم يسمح لها ، إلا فيما ندر ، بأن تتراجع بصورة محسوسة .

ثانياً ـ السواحل ذات الجونات الصخرية calanques

يمكن اعتبار الساحل ذي الجونات كحالة فريدة من الساحل ذي الرياس . والأحرى بنا أن نحتفظ باسم جونات كي نطلقها على التسننات الشاطئية التي تنتهي بممر مسدود ، كأخوار ساحل بلاد مسقط وعمان ، أو

كساحل البروفانس وكورسيكا ، أو لأن الشكل الغارق كان عبارة عن ممر ضيق أو عن بولييه كارستية ، أو لأن الساحل ينطبق على صدع أو ثنية حدثت قبل الطغيان الفلاندري ، وأن النهر الذي كان يصب من فوق الصدع المذكور أو الثنية لم يكن لديه ما يكفي من وقت لتقويم مقطعه الطولاني ومقطعه العرضاني .

ثالثاً ـ السواحل ذات الأصل الجمودي :

يمكن تقسيم السواحل ذات الأصل الجمودي إلى ثلاثة نماذج فرعية واضحة جداً وهي : السواحل ذات الفيوردات ، السواحل ذات السكيار ، وسواحل سهول التراكم الجمودي .

١ ـ **سواحل الفيوردات :** تطلق كلمة فيورد fjord على واد معلفي جمودي يحتله البحر بعد ذوبان الجمودية .

وينطبق توزع الفيوردات فوق سطح العالم على توزع السواحل التي احتلها الزحف الجمودي مدة طويلة والتي كانت تيارات الجليد عليها محدودة المجاري بحيث استطاعت حفر معالف . وهكذا كانت الفيوردات محصورة إذن على سواحل قائمة وحيث أمكن تحزيز تضريس جبار على شكل معالف . ونلاحظ في داخل مجال الزحف الجمودي إن هذه الشروط قد سمحت بنشوء سواحل ذات فيوردات على الحافات الغربية للقارات أكثر من السواحل الشرقية . ونشاهد أجمل الفيوردات على الساحل الباسيفيكي الشمالي لقارة أمريكا ، في كندا والأسكا ، وعلى ساحل تشيلي الجنوبي ، وعلى سواحل النروج الغربية ، ومنها استعيرت كلمة فيورد ، وعلى وسواحل إيقوسيا ، حيث تسمى لوش lochs ، ذلك الاسم الذي يطلق على بحيرات الاستعماق الجمودي ، مثلما نجدها أخيراً في جزيرة نيوزيلندا الجنوبية .

ونتعرف في الفيوردات على كل مميزات الأودية الجمودية . فيحوي المقطع الطولاني على عتبات وسرّات (جمع سرة) ، أكثر وضوحاً من مغاريق الأودية النهرية أو المصبات الخليجية ، ومحفورة في الصخر المحلي ، حتى ليبلغ عمقها الأقصى ١٢٠٠ متر ، أما المقطع العرضاني فيحوي على منبسطات ، أو أكتاف . وفي بعض الأحيان تكون الأودية الرافدة معلّقة وتصب في الفيورد على شكل شلالات ، وأحياناً تكون مغرقة . وعندها تكون عبارة عن عتبات تحويل transfluence أصبحت مضائق ، كالمضائق التي تدعى ساوند sounds في كولومبيا البريطانية ، في كندا . وقد تعود شبكة الفيوردات والساوند إلى مؤثرات ليتولوجية أو تكتونية ، ولكن هذا لا يمنع من القول بأنها تكونت بفعل الألسنة الجمودية .

٢ ـ **السواحل ذات السكيار :** وهي سواحل ذات شعاب écueils ناجمة عن صخور غنمية مغرّقة ، وتكون محفوفة بأرخبيلات ، وبجزر صغيرة جداً . وينتسب القسم الأكبر من السواحل الفنلندية والسواحل السويدية ، باستثناء منطقة سكانيا الجنوبية ، ينتسب إلى هذا النموذج . ونجمت هذه السواحل عن احتلال البحر لساحل سهل حتي جمودي ، ومن المؤكد أن تصادف نماذج انتقالية تقود إلى سواحل التراكم الجمودي .

٣ ـ **سواحل التراكم الجمودي :** وتكون على غاية من التنوع ، فالأوس os والدرملينات تشكل فيها خشوما promontoires أو جزيرات ، أما أودية الأنهار تحت الجمودية فتشكل خلجاناً . والأودية الغارقة العائدة لأنهار تحت جمودية هي التي تعطي للساحل الشرقي من شبه جزيرة جوتلند الدانمركية أصالتها ، وتؤلف الأودية قنوات طويلة أو خلجاناً متعرجة ، ذات ضفاف خضراء ومنخفضة مع أعناق عريضة فجائية وانحدارات عكسية . ويقوم الحت

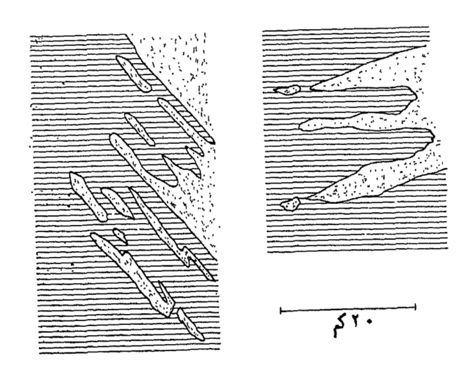
البحري السريع في الأنقاض المورينية ، بالإضافة إلى التراكم السريع في المياه الضحلة ، يقوم بتقويم هذا النموذج الساحلي بسرعة .

رابعاً ـ سواحل السهول غير الجمودية

كانت السواحل غير الجمودية حاوية على تضريس على غاية من الضعف حين حدوث الطغيان الفلاندري بحيث كان الساحل سيبدو متقطعاً للغاية لو لم يكن التقويم عليها متقدماً جداً حينذاك . غير أن قلة عمق البحر تسهّل عملية التقويم كثيراً حتى لنجد هنا نماذج يكون التراكم فيها متفوقاً ، باستثناء قنوات المصبات الخليجية . ولقد سبق لنا أو وصفنا كل عناصر هذه السواحل مثل المصبات الخليجية ، والمستنقعات البحرية ، والسهام الطويلة أو أعراف الساحل الطليعية العائمة التي تحجز خلفها مستنقعات بحرية كنموذج سواحل لانغدوك السفلى عند مصب نهر الرون أو ساحل الدلتا المصرية بما في ذلك ساحل سيناء الشمالي الغربي الذي يحجز خلفه بحيرة البرودويل . وتبدو نهاية التطور هي نهاية ساحل غاسقونيا جنوب غرب فرنسا ، أو الساحل الفلسطيني حيث يستمر البلاج ، ويكون محفوفاً بكثبان تحجز خلفها أودية نهرية تحولها إلى مستنقعات الماء العذب ، كالمستنقعات التي كان يشكلها نهر المقطع في شمالي حيفا أو الساحل الصومالي المستقيم المحفوف بالكثبان التي تمنع نهر شبيلي من الانصباب في المحيط الهندي على مسافة ٤٠٠ كيلو متر .

خامساً ـ السواحل ذات الاتجاهات البنيوية المتفوقة

تلعب المؤثرات البنيوية دوراً مؤكداً في النماذج التي سبق وصفها . ولكن توجد سواحل تكون فيها هذه المؤثرات البنيوية متفوقة حيث تحدد الجزء الأعظم من خط الساحل . تلك هي السواحل التي تنطبق على ثنية واضحة بشكل فريد كالساحل السوري اللبناني ، أو على صدع كسواحل البحر الأحمر .



(شكل ١٥٠) ـ رسم السواحل ذات الاتجاهات البنيوية

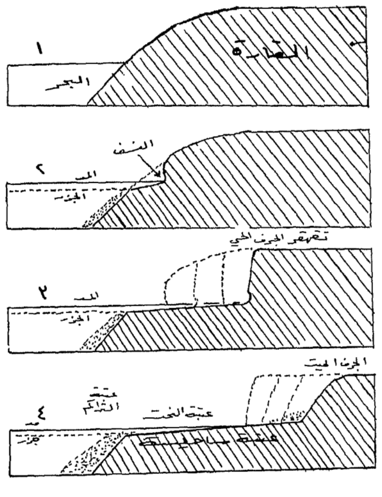
تكون الاتجاهات طولانية إلى اليسار (حالة الساحل الدالماسي في يوغسلافيا) وعرضانية إلى اليمين (حالة ساحل جنوب غرب جزيرة إيرلندا أو سواحل تركيا على بحر إيجه) .

وهكذا يساير رسم سواحل الكتلة البرازيلية الاتجاهات التكتونية التي تمنحها بساطة خطوطها ، وكذلك السواحل الجنوبية من جزيرة العرب .

واستناداً إلى العلاقات بين الخطوط الموجِّهة وبين اتجاه الساحل نستطيع أن نميز سواحل ذات بنية عرضانية أو طولانية (شكل ١٥٠) .

والمثال التقليدي عن بنية **طولانية** هو الساحل الدالماسي ، حيث تبدو السلاسل الكبرى وكأنها تغور في لجة البحر . وتمثل الجزر الطويلة الموازية للساحل ، في أغلب الأحيان ، محدبات في حين تشكل المقعرات قنوات طويلة أو مضائق . وهكذا نتعرف هنا على عناصر تضريس ملتو غارق .

أما ساحل جنوب غرب إيرلندا فهو مثال من **بنية عرضانية** ،

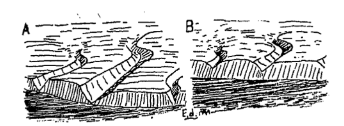


(شكل ١٥١) ـ مراحل تشكل الجدار الساحلي (الجرف أو الروشن)

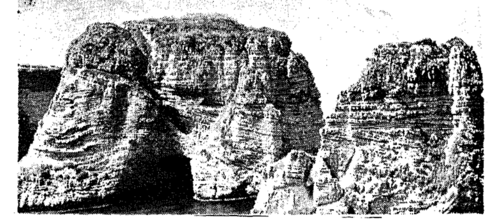
تضريس أبالاشي غارق ، فتؤلف الأخاديد دخلات عميقة في حين تتقدم أعراف الخشوم باتجاه عرض البحر .

سادساً ـ السواحل ذات الرواشن أو الجدران الساحلية

يمثل الساحل ذو الرواشن نهاية مطاف تطور : (شكل ١٥١) ولهذا لا نجده إلا في الصخور الطرية ، كالحوار . ويكون الساحل مستقيماً . وتقدم قمة الروشن جانبية profil متموجة ، هو مقطع تضريس قاري تحقق بفعل تقهقر سريع مع وديان جافة معلقة تدعى فاللوز valleuses على ساحل بيكارديا



(شكل ١٥٢) ـ مجسم يظهر تشكل الفالloز . A ـ وديان شابة خلال تشكلها .
B ـ الوديان ذاتها بعد أن بترت بفعل تقهقر الساحل (عن ديمارتون)



صورة رقم ١٨ ـ الروشة في بيروت وتظهر عندها مغارة الحمام . لاحظ الروشن الحواري بالإضافة إلى انعدام التطابق أي (التنافر) الستراتيغرافي .

الفرنسية وكذلك على الساحل البريطاني المقابل ، وأودية نهرية كان لها ، على العكس ، ما يكفي من قوة لأن تترابط دون توقف مع المستوى البحري كلما تراجع المصب . ونموذج هذا الساحل هو بلاكو Caux ، أو الساحل الحواري البريطاني (شكل ١٥٢ وصورة رقم ١٧) .

وأخيراً نلاحظ كثرة النماذج « المختلطة » . فساحل بريتانيا الغربي هو ساحل ذو رياس وساحل ذو بنية عرضانية في آن واحد ، وهو في نفس الوقت ساحل ذو رياس وساحل جونات . وهذا يعني ، هنا أيضاً ، أن المورفولوجيا العامة ليست أكثر من دليل يساعد على التصدي للقضايا الإقليمية .

☆ ☆ ☆

الخلاصة

سرعة الحت ، المورفولوجيا الديناميكية ،

المورفولوجيا التطبيقية .

لقد ظلت الأبحاث الجيومورفولوجية ، وذلك خلال مدة طويلة ، عبارة عن أبحاث نوعية ، وصفية ، لأن الاهتمام بقياس سرعة الحت لم يظهر إلا تدريجياً وبصورة بطيئة . ولكن علينا الاعتراف بأن هذا القياس عسير ، أو على الأقل يكون التقدير الاستقرائي بالنسبة لفترات طويلة ، استناداً لقياسات تمت على فترات قصيرة ، تقديراً محفوفاً بالأخطاء الخطيرة . والواقع هو أن تشكل التقاطيع المورفولوجية يتم غالباً على شكل أزماتٍ متقطعة ، أي على شكل كوارث شاذة منفصلة عن بعضها بفترات تطور يومي بطيء ، وعلى صورة أزمات مناخية منفصلة عن بعضها بفترات توازن بيولوجي ـ مناخي ـ مورفولوجي . ويضطرنا هذا الشك إلى البحث عن شواخص ، أي عن دلائل : كالتكوينات السطحية ، والتوضعات التناسبية المؤرخة بمستحاثات أو بفلزات ذاتِ نشاط إشعاعي .

غير أنه جرت محاولات في هذا المضمار . فقد قامت دراسات عديدة لقياس الحمولة الصلبة في الأنهار ، واستناداً إلى توزيعها على وحدات مساحة الحوض السفحي ، فقد أمكن حساب الثخانة التي يخسرها سطح الأرض في كل عام . كما استطاع كوربل Corbel أن يقيس كمية الكلسيوم ، المنصرفة من منطقة ذات صخور كلسية ، ومنها حسب الشطيرة الصخرية المنحلة . أما في منطقة

متنوعة الصخور ، فقد وجد مينار Ménard أن الرقم المتوسط للتآكل يبلغ خمس الميليمتر في العام ، أو ٢٠ سنتيمتراً في كل ألف سنة . وقد توصل كوربل منذ عهد قريب إلى تقدير مجمل الحت العالمي بحوالي ثمانية مليارات متر مكعب ، وتقوم الجموديات وحدها بحت نصف هذه الكمية . وبذلك يبلغ التآكل المتوسط إذن أكثر بقليل من ١ / ٢٠ الميليمتر في العام أو ٥ سنتيمترات في كل ألف عام .

هذا وتؤلف النباتات غطاء واقياً بالنسبة لسطح الأرض . فهي تحول دون تأثير عوامل الحت الريحي أو المائي على سطح الأرض أو تخففها لحد كبير . فمثلاً يحتاج ماء المطر لمدة تبلغ ٥٧٠٠٠٠ سنة كي ينتزع طبقة من التربة تبلغ ثخانتها ١٨ سم في منطقة مكسوة بالغابات ، في حين لا يحتاج لمدة تزيد عن ٨٠٠٠٠ ينة في منطقة مستورة بالمروج ، بل يكتفي بمدة ٤٦ سنة للقيام المهمة التخريبية نفسها في منطقة خاضعة للزراعة ، ولمدة لا تزيد عن ١٨ سنة فقط في منطقة عارية تماماً أو سنتيمتر واحد في كل عام .

أما فيما يتعلق بالتكتونيك ، فقد تمكن العالمان تريكار وكايو ، وذلك بفضل التوضعات التناسبية corrélatifs ، من تخمين سرعة الحركات الأرضية كتلك التي أوجدت الجبال الألبية . ومنذ زمن طويل تمكن العلماء من التعرف على السرعة الخارقة التي تتصف بها الحركات الجمودية التوازنية السيالية isostatiques في منطقة خليج بوتني ، في شمال البلطيك ، والتي تزيد عن المتر الواحد في القرن في أشد المناطق تسارعاً .

وهناك طريقة مختلفة تقوم على وضع شواخص فوق السفوح وعلى قياس نزول وتفريغ التشكلات السطحية . وبذلك تمكن جاهن من تقدير سرعة جريان التربة الحالي في جزيرة سبيتزبرغ بحوالي سنتيمتر واحد إلى ثلاثة في العام فوق انحدارات تتراوح بين ٣ و ٤ درجات ، وبسرعات قصوى تتراوح بين

٥ و ١٢ سم سنوياً فوق منحدرات تتراوح بين ٧ إلى ١٥ درجة . كما أن الغسل السطحي ، في نفس الأرخبيل ، يؤدي لتخفيض سطح الأرض بحوالي ١ مم في كل مائة وخمسين سنة وسطياً .

وقد سمحت هذه الدقة التي أمكن التوصل إليها بالإضافة إلى التعرف على الطرائق الحالية ، سمحت منذ اربعين سنة بنشوء وتطور علم الجيومورفولوجيا الديناميكية . وإذا كانت الجيومورفولوجيا التقليدية تكتفي فقط بوصف المشهد الجغرافي وتفهمه عن طريق دراسة التطور الماضي ، فإن الجيومورفولوجيا الديناميكية تحاول إدراك الطرائق ـ الماضية أو الحالية ـ وهي في أثناء عملها . وهكذا لا داعي للدهشة فيما إذا تمكنت ، بالتالي ، من أن تتوقع التطور الذي سيحدث في مستقبل قريب .

وهكذا تتحول الجيومورفولوجيا الديناميكية بسهولة إلى جيومورفولوجية تطبيقية بحيث يستطيع الإنسان أن يؤثر على تحولات المشهد الجغرافي . فلا تكون الجيومورفولوجيا مفيدة لعلم التربة فحسب ، عن طريق دراستها التكوينات السطحية والميول ، ذلك العلم الذي يعتبر أكبر معين للزراعة ، بل تسمح الجيومورفولوجيا أيضاً بالدفاع ضد الفيضانات أو ضد انزلاقات الصخور أو انهيار المباني العالية أو قنوات الري الممدودة فوق صخور ذوابة مثل الجبس أو الأنهيدريت كما حدث أثناء استصلاح الأراضي بعد بناء سد الفرات . هذا ويستطيع الإنسان أن يتدخل خاصة في مجال المورفولوجيا الساحلية وذلك من أجل حماية السواحل وتقويم الممرات ومكافحة الاطماء ، وللتعرف على العتبة القارية plateforme التي يتم فوقها التنقيب عن النفط على نطاق واسع والتي تقدم حالياً حوالي ربع نفط العالم ، بحيث تبدو المورفولوجيا كعون لا غنى عنه لتحقيق المنجزات الكبرى . أما انتزاع الأرض من البحر ، على

طول السواحل المنخفضة كسواحل الفلمنك وهولندا والدلتا المصرية فيستند على معرفة آلية التوضّع الاصطناعية وتثبيت الوحل .

وهكذا تجد الأبحاث البحتة امتدادها في هذه الجيومورفولوجيا التطبيقية التي تتطور وتنمو بفضل الربط الذي تقوم به بين المعارف النظرية والملاحظات والتجارب .

انتهى بعون الله

الفهرس

الصفحة

الصفحة

الصفحة

الجزء الثاني : الجغرافيا البنيوية

الصفحة

الصفحة

الصفحة

الصفحة

